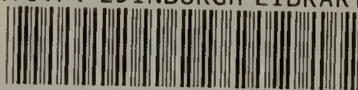

BIBLIOTH. COLL. REG. MED. EDIN.

P6 - 13



Holzstiche

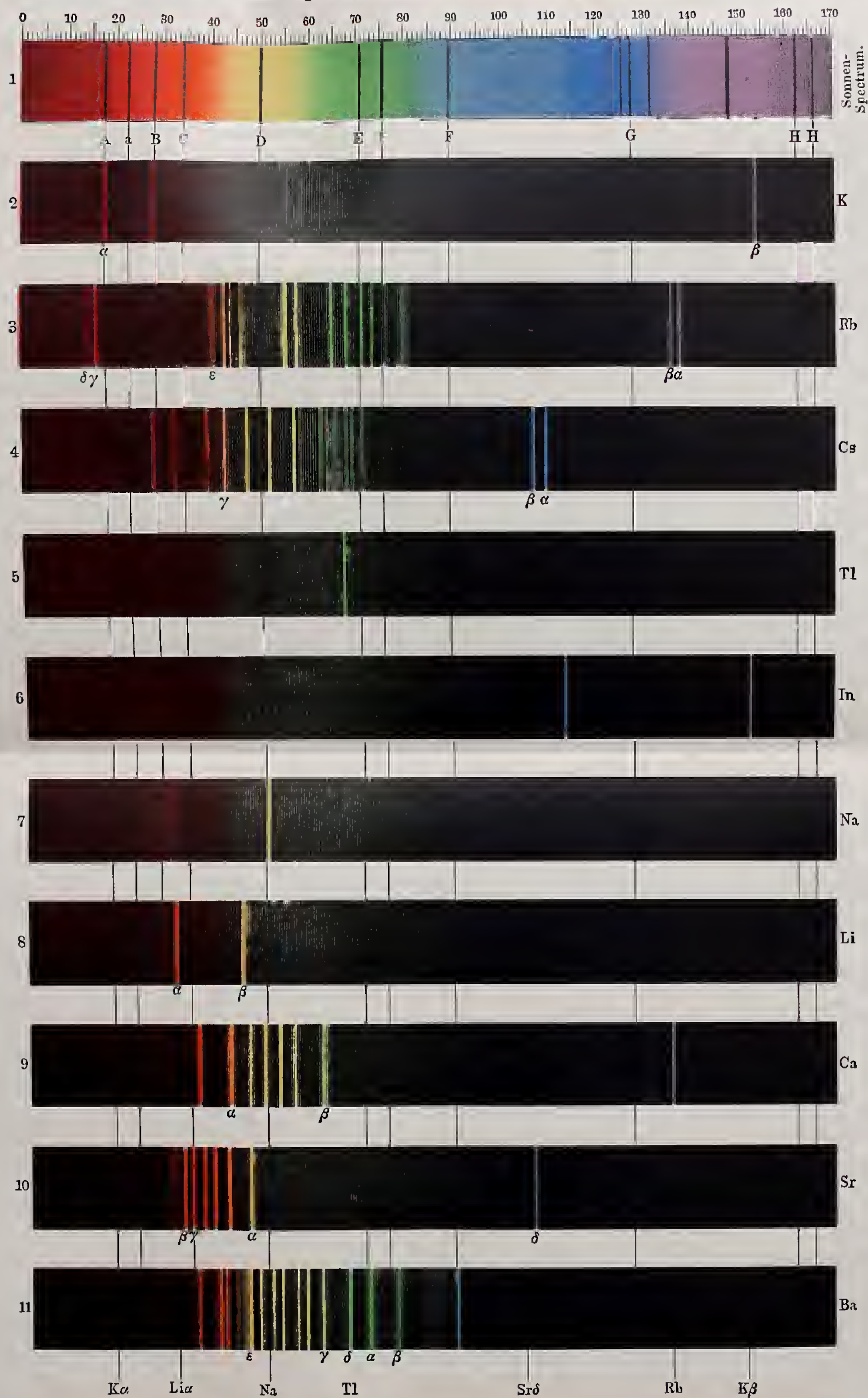
aus dem xylographischen Atelier

von Friedrich Vieweg und Sohn

in Braunschweig.

Spectraltafel der Alkali- und Erdalkali-Metalle.

Nach der Originalzeichnung von Bunsen & Kirchhoff.



Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

DIE

SPECTRALANALYSE.

VON

DR. JOHN LANDAUER

IN BRAUNSCHWEIG.





MIT 44 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN UND EINER SPECTRALTAFEL.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1896.

Alle Rechte vorbehalten.

VORWORT.

Das vorliegende Buch ist ein auf Anregung von hochgeschätzter Seite veranstalteter Neudruck eines kürzlich im Fehling-Hell'schen Neuen Handwörterbuch der Chemie veröffentlichten Artikels über Spectralanalyse. Nicht ohne Bedenken bin ich an eine Sonderausgabe herangetreten, weil ein im Rahmen eines anderen Werkes bearbeiteter Abschnitt naturgemäss eine andere Behandlung erheischt, als ein selbständiges Werk.

Die dem Buche daraus erwachsenen Nachtheile werden zum Theil vielleicht aufgewogen durch die Fülle des auf wenigen Bogen dargebotenen Stoffes, durch die streng durchgeführte Berücksichtigung des geschichtlichen Entwickelungsganges und durch die Beigabe möglichst vollständiger Literaturnachweise. Auch ist, entsprechend der Verwendung des Neuen Handwörterbuches zum Nachschlagen, den Zahlenangaben besondere Sorgfalt gewidmet, wobei durch Umrechnung der älteren Messungen auf die zuverlässige Rowland'sche Scala eine bisher entbehrte Einheitlichkeit herbeigeführt wurde.

Da es in der deutschen Literatur an einem Werke über Spectralanalyse fehlt, welches den wichtigen Errungenschaften der neuesten Zeit Rechnung trägt und einen so weiten Ueberblick über das gesammte Gebiet gewährt, dass die vorhandenen zahlreichen Lücken klar hervortreten, so wird es dem vorliegenden Büchlein vielleicht vergönnt sein, zu weiteren Forschungen anzuregen und neue Arbeiter diesem interessanten Wissensgebiete zuzuführen.

Dies ist um so wünschenswerther, als die Spectralanalyse in Deutschland, wo sie ihre wissenschaftliche Begründung erhielt und wo bis auf die Gegenwart in wechselnder Folge besonders hervorragende Untersuchungen ausgeführt wurden, noch nicht die allgemeine Pflege und Beachtung gefunden hat, welche sie beanspruchen darf und welche ihr in anderen Ländern bereits zu Theil geworden ist.

Braunschweig, im October 1895.

Der Verfasser.

INHALTSVERZEICHNISS.

Seite

Einleitung 1

Geschichte 2

Physikalische Grundlage 7

Lichtschwingungen 7. Wellenlänge 8. Reflexion 8. Brechung 8. Prisma 9. Dispersion 10. Anomale Dispersion 11. Reines Spectrum 11. Gitter 12. Beugung 12. Vorzüge der Beugungs- und Brechungsspectren 13.

Apparate 14

Prismenspectroskope mit abgelenktem Strahle 14. Spectroskope mit gerader Durchsicht 21. Gitterspectroskope 24. Spectralapparate für besondere Zwecke 26.

Spectroskopische Hülfsmittel 39

Herstellung von Flammenspectra 39. Der elektrische Bogen 41. Der elektrische Funken 43. Geissler'sche Röhren 44. Beobachtung der unsichtbaren Theile des Spectrums 46. Beobachtung von Absorptionsspectren 49. Messvorrichtungen und Scala 50. Aufzeichnung der Spectra 53.

Das Spectrum 53

I. Emissionsspectra 53. Einfluss von Temperatur und Druck 56. II. Absorptionsspectra 58. Das Kirchhoff'sche Gesetz 58. Einfluss des Aggregatzustandes und der Temperatur 59. Einfluss des Lösungsmittels 60. Einfluss der optischen Dicke 60. Fluorescenz und Absorption 61. III. Beziehungen zwischen den Linien eines Elementes 61. IV. Beziehungen zwischen den Spectren verschiedener Elemente 67.

Specieller Theil 71

Maassstab für die Messungen 71. Empfindlichkeit der Spectralreactionen 73. Aluminium 74. Aluminiumoxyd 75. Antimon 75. Argon 76. Arsen 77. Barium 77. Beryllium 78. Blei 79. Bor 79. Borsäure 80. Brom 80. Cadmium 82. Cäsium 82. Calcium 83. Calciumbromid 83. Calciumchlorid 84. Calciumfluorid 84. Calciumoxyd 84. Cerium 84. Chlor 84. Chrom 85. Didym 85. Didymchlorid 86. Didymnitrat 86. Praseodymnitrat 87. Eisen 87. Erbium 91. Erbiumchlorid 91. Fluor 91. Gallium 91. Germanium 91. Gold 92. Helium 92. Indium 93. Iridium 93. Jod 93. Kalium 95. Kobalt 96. Kohlenstoff 97. Cyan 100. Kohlenoxyd 102. Kupfer 102. Kupferchlorid 103. Lanthan 103. Lithium 103. Magnesium 104. Magnesiumhydroxyd 105. Magnesiumoxyd 105. Mangan 105.

Seite

Manganoxyd 106. Molybdän 106. Natrium 106. Nickel 107. Niob 108. Osmium 108. Palladium 108. Phosphor 108. Platin 109. Quecksilber 109. Rhodium 110. Rubidium 110. Ruthenium 110. Samarium 110. Samariumnitrat 110. Sauerstoff 111. Scandium 112. Schwefel 112. Selen 113. Silber 113. Silicium 114. Stickstoff 114. Luft 117. Ammoniak 118. Untersalpetersäure 118. Strontium 118. Strontiumchlorid 119. Strontiumoxyd 119. Tantal 119. Tellur 119. Thallium 120. Thorium 121. Thulium 121. Titan 121. Uran 122. Vanadin 122. Wasserstoff 123. Wismuth 124. Wismuthoxyd 125. Wolfram 125. Ytterbium 125. Yttrium 125. Zink 126. Zinn 126. Zirkon 127.

Absorptionsspectra 127

Absorption durch Gase und Flüssigkeiten 129. Verschiedene Salze derselben färbenden Base oder Säure 129. Zusammenhang zwischen Molekularstructur und Absorptionsspectrum 131. Absorption im sichtbaren Theil 131. Absorption im Ultraviolett 134. Absorption im Ultraroth 136.

Das Sonnenspectrum 137

Die Fraunhofer'schen Linien 137. Rowland's Wellenlängentafel derselben 140. Die chemische Zusammensetzung der Sonne 147. Tellurische Linien des Sonnenspectrums 151. Grenzen der Untersuchung 151. Die physische Beschaffenheit der Sonne 152. Sonnenkern 153. Photosphäre 153. Sonnenflecke und -Fackeln 153. Umkehrende Schicht 154. Chromosphäre und Protuberanzen 154. Corona 155.

Die übrigen Himmelskörper 155

Fixsterne 155. Planeten und Monde 156. Kometen 157. Meteore und Sternschnuppen 157. Nebelflecke 157.

Nordlicht, Zodiakallicht, Blitz 158

Linienverschiebung 159

Die Spectralanalyse [1]) ist eine chemisch-analytische Methode, mit deren Hülfe man unter Benutzung der Brechbarkeit (Dispersion) oder der Beugung (Diffraction) der Lichtstrahlen die Bestandtheile eines Körpers ermittelt. In ihrer weiteren Entwickelung bietet sie ein Mittel

[1]) Allgemeine Werke über Spectralanalyse: Cazin, La spectroscopie, Paris 1878. Dibbits, De Spectraal-Analyse, Rotterdam 1869. Dieterici, Spectralanalyse in Ladenburg's Handwörterbuch der Chemie, Breslau 1892. Gänge, Die Spectralanalyse, Leipzig 1893. Grandeau, Instruction pratique sur l'analyse spectrale, Paris 1863. Huggins, Ergebnisse der Spectralanalyse in Anwendung auf die Himmelskörper. Deutsch von Klinkerfues. Leipzig 1868. Kayser, Lehrbuch der Spectralanalyse, Berlin 1883 (enthält zugleich Messungen der Spectra und eine sehr vollständige Literaturübersicht). Derselbe, Spectralanalyse in Winkelmann's Handbuch der Physik (Encyklopädie der Naturw.), Breslau 1894. Klinkerfues, Die Spectralanalyse und ihre Anwendung in der Astronomie, Berlin 1879. v. Kövesligethy, Grundzüge einer theoretischen Spectralanalyse, Leipzig 1890. Konkoly, Handb. der Spectroskopiker, Halle a. S. 1890. G. u. H. Krüss, Colorimetrie u. quant. Spectralanalyse, Hamburg u. Leipzig 1891. Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Lielegg, Die Spectralanalyse, Weimar 1867. Lockyer, Das Spectroskop und seine Anwendung, Braunschweig 1874. Derselbe, Studien zur Spectralanalyse, Leipzig 1879 Lorscheid, Die Spectralanalyse, Münster 1875. MacMunn, The spectroscope, London 1888. Proctor, The spectroscope, London. Roscoe, Die Spectralanalyse, 3. Aufl., neu bearbeitet vom Verfasser und A. Schuster, Braunschweig 1890 (enthält populäre Vorlesungen über das Wesen der Spectralanalyse und anhangsweise Auszüge aus den wichtigsten Originalabhandlungen, auch eine reiche Literaturübersicht). Salet, Traité élémentaire de spectroscopie, 1. Fascicule, Paris 1888. Schellen, Die Spectralanalyse in ihrer Anwendung auf die Stoffe der Erde und die Natur der Himmelskörper, Braunschweig 1883. Scheiner, Die Spectralanalyse der Gestirne, Leipzig 1890 (enthält zugleich eine eingehende Bibliographie). Secchi, Die Sonne, deutsch von Schellen, Braunschweig 1872. Thalén, Spectralanalyse exposé och Historick, med en Spectralkarta, Upsala, 1866. Vierordt, Anwendung des Spectralapparates zur Photometrie und zur quant. Analyse, Tübingen 1873. Vogel, Prakt. Spectralanalyse irdischer Stoffe, Berlin 1889 (berücksichtigt besonders die praktische Analyse, namentlich die Absorptionsspectra). Watts, Index of Spectra, Manchester 1889 (enthält sämmtliche Messungen der Spectren und eine reichhaltige Bibliographie; Nachträge zum Index erscheinen in den Reports of the British Association, London). Young, Die Sonne, Leipzig 1883. — Ferner die Lehrbücher der Physik: u. A. Lommel, Lehrb. d. Experimentalphysik, Leipzig 1893. Müller-Pouillet's Lehrb. d. Physik, 9. Aufl. v. Pfaundler, Braunschweig 1894. Winkelmann, Handb. d. Physik, Breslau 1893.

zur Erforschung der molekularen Structur der Materie. Das Bild, welches entsteht, wenn Lichtstrahlen gebrochen oder gebeugt werden, nennt man Spectrum. Weissglühende feste Körper emittiren Strahlen von jeder Brechbarkeit und geben ein ununterbrochenes (continuirliches) Spectrum; glühende Gase oder Dämpfe entsenden dagegen Strahlen von bestimmter Brechbarkeit und liefern ein unterbrochenes (discontinuirliches) Spectrum, bestehend aus hellen, für jeden Körper charakteristischen Linien, an denen er, wenn er allein auftritt oder in einem Gemische enthalten ist, erkannt werden kann. Gehen ferner die Strahlen eines weissglühenden festen Körpers durch ein farbiges Medium hindurch, so absorbirt dieses bestimmte Strahlengattungen des Spectrums, und man erhält ein Absorptionsspectrum, das für die chemische Beschaffenheit des absorbirenden Stoffes kennzeichnend ist.

Die Spectralreactionen zeichnen sich durch eine ausserordentlich grosse Empfindlichkeit aus, wie sie von anderen chemischen Reactionen nicht erreicht wird. Man vermochte daher mit ihrer Hülfe eine Reihe neuer, nur in spärlichen Mengen vorkommender Elemente aufzufinden. Da ferner bei der Spectralanalyse die Entfernung der Lichtquelle ohne wesentlichen Belang ist, so konnte diese Methode auf die chemische Erforschung der Himmelskörper Anwendung finden und zu Aufschlüssen führen, die in früherer Zeit für unerreichbar gelten mussten.

Geschichte[1]). Die Spectralanalyse ist von 1859 an durch Kirchhoff und Bunsen begründet und ausgebildet worden. Vorher hatten schon andere Forscher Spectrallinien beobachtet, auch den Gedanken der chemischen Analyse durch Spectralbeobachtungen klar ausgedrückt, sie gelangten aber nicht zum Ziele, weil die grundlegende Frage, ob die hellen Linien eines glühenden Gases ausschliesslich von den chemischen Bestandtheilen herrühren, noch nicht beantwortet werden konnte. Irreführend war namentlich die Natriumreaction, die oft beobachtet wurde, wo man an Natrium nicht dachte, und die bald dem Natrium, dem Schwefel und dem Wasser zugeschrieben wurde. Thomas Melville[2]) hat zuerst 1752 die gelbe Natriumflamme beobachtet, konnte aber die Ursache der Färbung nicht feststellen. John Herschel[3]) untersuchte 1822 die Spectra vieler gefärbten Flammen, insbesondere die durch Strontium, Kupfer und Borsäure gefärbten, und wies 1827 darauf hin, dass auf diese Weise ausserordentlich kleine Mengen der

---

[1]) Kopp, Entwickelung der Chemie in der neueren Zeit, München 1873, S. 215 u. 642. Kirchhoff, Zur Geschichte der Spectralanalyse: Pogg. Ann. **118**, 94, 102. Brewster, Compt. rend. **62**, 17. Kahlbaum, Aus der Vorgeschichte der Spectralanalyse, Basel 1888. Rosenberger, Geschichte d. Physik 3, Braunschweig 1890. Stokes, Nature 13, 188; Phil. Mag. [4] 25, 250. Talbot, Proc. Roy. Soc. Edinb. 7, 461. — [2]) Melville, Edinb. Phys. and Lit. Essays 2, 12 (1752). — [3]) Herschel, Trans. Roy. Soc. Edinb. 9, (1823); Pogg. Ann. 16 (1829); On the theory of light, London 1828.

flammenfärbenden Stoffe zu entdecken sind. Fox Talbot[1]) sprach sich 1826 noch bestimmter aus, indem er bemerkte, dass, falls seine Ansichten über die gewissen Körpern eigenthümlichen Linien richtig sind, ein Blick auf das prismatische Spectrum einer Flamme genügen würde, um Stoffe nachzuweisen, welche sonst zu ihrer Entdeckung einer mühsamen chemischen Analyse bedürfen. Und 1834 bei der richtigen Beschreibung der Lithium- und Strontiumspectra hebt er abermals hervor, dass diese optische Methode die kleinsten Mengen dieser Körper mit gleicher, wenn nicht grösserer Schärfe erkennen lässt, als irgend ein anderes bekanntes Verfahren. Indessen wird diesen klaren Schlüssen in den betreffenden Abhandlungen durch andere Aussprüche geradezu widersprochen und die Grundlage der Analyse dadurch in Frage gestellt, dass Talbot im Gegensatze zu Herschel annahm, die Reactionen könnten durch einen in der Flamme befindlichen Körper auch ohne Verflüchtigung desselben hervorgerufen werden. Auch die 1845 von W. A. Miller[2]) veröffentlichten Resultate seiner Versuche über die Flammenspectra der Alkalimetalle brachten trotz der verdienstlichen Beigabe von Abbildungen keinen besonderen Fortschritt, weil Miller sich einer leuchtenden Flamme bediente und deshalb nicht klar erkennen konnte, was für das eine oder andere Metall charakteristisch ist. — Im Jahre 1856 zeigte dann Swan[3]) mit Sicherheit, dass die fast immer auftretende gelbe Linie den Natriumverbindungen eigenthümlich ist, und dass das häufige Auftreten dieser Reaction der fast universellen Verbreitung der Natriumsalze zuzuschreiben ist. Swan wies in seiner Arbeit über die prismatischen Spectra der Kohlenwasserstoffverbindungen auch die unveränderliche Lage der beobachteten Spectrallinien nach und lieferte damit einen schätzbaren Beitrag zur Frage, ob die hellen Linien eines glühenden Gases ausschliesslich von den einzelnen chemischen Bestandtheilen abhängen. In ihrer Allgemeinheit und mit Bestimmtheit hat er indessen diese Frage nicht beantwortet. Dies blieb Kirchhoff und Bunsen vorbehalten.

Neben den Flammenspectra sind die Spectra des elektrischen Funkens um die gleiche Zeit zur Beobachtung gelangt. Wollaston[4]), der die Spectralbeobachtung durch Einführung des engen Spaltes an Stelle des von Newton zum Eintritt des Lichtes benutzten runden Loches vervollkommnete und auch die schwarzen Linien im Sonnenspectrum zuerst wahrnahm, bemerkte zahlreiche helle Spectrallinien, ohne sich über deren Ursprung Rechenschaft abzulegen. Kaum erfolgreicher war in dieser Hinsicht Fraunhofer[5]), der sich andererseits aber durch die Erfindung der Beugungsgitter, durch die damit vor-

---

[1]) Talbot, Brewster's Journ. of Soc. 5, 1826; Phil. Mag. [3] 3, 35 (1833); 9, 3 (1836). — [2]) Miller, Brit. Assoc. Rep. 1845; Phil. Mag. [3] 27, 81, — [3]) Swan, Trans. Roy. Soc. Edinb. 3, 376; 21, 353 (1857). — [4]) Wollaston, Phil. Trans. 1802, p. 365. — [5]) Fraunhofer, Denkschriften d. Münchener Akad. 1814, 1815; Gilbert's Ann. 74, 337.

genommenen Wellenlängenmessungen, sowie durch die Beobachtung und Zeichnung der nach ihm benannten schwarzen Linien im Sonnenspectrum einen unvergänglichen Namen gemacht hat. Er zeichnete 350 solcher Linien und, da er in den Spectren der Sterne davon abweichende fand, nahm er an, dass der Ursprung der Linien nicht in der Erdatmosphäre, sondern in der Sonne bezw. den Sternen zu suchen ist. Im Jahre 1835 fand Wheatstone[1]) bei der Benutzung verschiedener Metalle als Elektroden, dass verschiedenartige Spectra auftreten, die sich gleich bleiben, mag der Funken in Luft, Wasserstoff oder im leeren Raume überspringen, woraus er schloss, dass keine Verbrennung, sondern eine Verflüchtigung der Metalle stattfindet. Er zeichnete die Spectra von Natrium, Quecksilber, Zink, Cadmium, Wismuth, Zinn und Blei und empfahl das Verfahren zu analytischen Zwecken. Nachdem Foucault[2]) 1849 auf minder vollkommene Weise die Spectra einiger in der Luft verflüchtigten Metalle studirt, wobei er die später als Umkehrung der Natriumlinie bezeichnete schwarze D-Linie wahrnahm — allerdings ohne aus dieser wichtigen Beobachtung die später von Kirchhoff gemachte Schlussfolgerung zu ziehen —, untersuchte Masson[3]), indem er durch Laden von Condensatoren mit Inductionsströmen ein rationelleres Verfahren anwandte, die Funkenspectra von Eisen, Zinn, Antimon, Wismuth, Kupfer, Blei, Cadmium und Kohlenstoff. Hierbei beobachtete er als ständige Begleiter die Linien der feuchten Luft, deren Ursprung er indessen nicht erkannte. Dies wurde 1853 von Angström[4]) in einer denkwürdigen Arbeit klar gestellt, in welcher er nachwies, dass diese Linien, welche in der Mitte des vom Funken durchschlagenen Raumes auftreten, der anwesenden Luft oder Gasart zukommen, während die in der Nähe der Elektroden sichtbaren Linien den Metallen angehören. Angström zeichnete und beschrieb ausserdem die Spectra einer grossen Anzahl von Metallen und Metalloiden und war der Auffindung des Zusammenhanges zwischen Lichtemission und -absorption nahe, indem er unter Anlehnung an Euler annahm, dass ein Körper diejenigen Schwingungen absorbirt, die er selbst hervorbringen kann. Im Jahre 1858 begann Plücker[5]) seine Untersuchungen über das Spectrum des in stark verdünnten Gasen hervorgebrachten elektrischen Lichtes zu veröffentlichen. Er fand, dass die hellen Spectrallinien für die vorhandenen einfachen Gase oder für die bei der Zerlegung zusammengesetzter frei werdenden Componenten charakteristisch sind. Aehnlichen Untersuchungen widmete sich van der Willigen[6]), der 1859 auch zeigte, dass mit Salzlösungen befeuchtete

---

[1]) Wheatstone, Brit. Assoc. Rep. 1835; Chem. News 3, 198; Phil. Mag. [3] 7, — [2]) Foucault, Institut 1849, p. 44. — [3]) Masson, Ann. ch. phys. [3] 31, 295 (1851). — [4]) Angström, K. Vetenskaps Akad. Handl., Stockholm 1853, p. 335; Pogg. Ann. 94, 141 (1855). — [5]) Plücker, Pogg. Ann. 103, 88; 104, 113, 622; 105, 67; 107, 77, 415. — [6]) van der Willigen, Ebend. 106, 610; 107, 473 (1859).

Platinelektroden die Spectra solcher Lösungen hervorbringen, man also nicht mehr das Metall selbst anwenden musste, um dessen Spectrum zu erhalten.

So weit waren die Kenntnisse von den Spectra gediehen, als Kirchhoff und Bunsen 1859 ihre Abhandlung „Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen“ [1]) bekannt gaben. Zum Theil unabhängig von ihren Vorgängern, die wiederholt auf richtiger Fährte waren, aber doch nicht zum Ziele kamen, fassten sie die Spectralerscheinungen zu einer chemisch-analytischen Methode zusammen und führten den Beweis, dass die hellen Linien, welche das Spectrum eines glühenden Gases aufweist, ausschliesslich durch die chemischen Bestandtheile desselben bedingt sind. Während dieses Gesetz bis auf die Jetztzeit die Grundlage für die Spectralanalyse geblieben ist, erfuhr der zweite Satz, welcher besagt, dass die Art der Verbindung der Bestandtheile keinen Einfluss auf die Reactionen ausübt, und dass diese auch von der Temperatur und dem Drucke des Dampfes nahezu unabhängig sind, später eine wesentliche Einschränkung. Nachdem schon Roscoe und Clifton [2]) auf den Unterschied zwischen dem Spectrum eines Elementes und seiner Verbindungen aufmerksam gemacht, wies A. Mitscherlich [3]) 1863 nach, dass jede Verbindung ihr eigenes Spectrum besitzt, und dass, wenn die verschiedenen Salze eines Elementes das gleiche Spectrum erzeugen, dies auf eine vorhergegangene Dissociation zurückzuführen ist. Kirchhoff und Bunsen beschrieben in ihrer ersten Abhandlung die Spectra der Alkali- und Erdalkalimetalle und legten die grosse Empfindlichkeit der Methode dar, welche gestattet, viele Stoffe noch in Mengen zu erkennen, die sich auf gewöhnlichem Wege jeder chemischen Wahrnehmung entziehen, wodurch die Kenntnisse von der Verbreitung der Elemente erweitert und die Auffindung bis dahin unbekannter Grundstoffe in Aussicht gestellt werden konnte. In der That knüpfte sich an die Entdeckung der Spectralanalyse die Auffindung von Cäsium, Rubidium, Thallium, Indium, Gallium und mehreren Metallen der seltenen Erden. Was aber der Ausbreitung der Spectralanalyse noch einen besonderen Impuls gab, war ihre Anwendung in der Astronomie. Auf Grund des von Kirchhoff [4]) kurz vorher auf mathematischem Wege bewiesenen Satzes, dass für jede Strahlengattung das Verhältniss zwischen dem Emissions- und Absorptionsvermögen bei derselben Temperatur für alle Körper das gleiche ist, wurde der Ursprung der Fraunhofer'schen Linien erkannt und die chemische Zusammensetzung der Sonne und ihrer Atmosphäre enthüllt. Diese Untersuchung veranlasste Kirchhoff, eine genaue Zeichnung des Sonnenspectrums zu entwerfen

---

[1]) G. Kirchhoff u. R. Bunsen, Pogg. Ann. **110**, 167. — [2]) Roscoe u. Clifton, Proc. Manchester Phil. and Lit. Soc. 1862. — [3]) A. Mitscherlich, Pogg. Ann. **121**, 3 (1863). — [4]) Kirchhoff, Monatsber. Berl. Akad. vom 27. Oct. 1859.

und zum Vergleich mit den Fraunhofer'schen Linien die Lage vieler Spectrallinien irdischer Stoffe genauer zu bestimmen. Hierbei bediente sich Kirchhoff, wie auch Huggins [1]), der diese Beobachtungen noch weiter ausdehnte, einer willkürlichen Scala. Angström [2]) gebührt das Verdienst, zuerst an Stelle einer solchen die Wellenlänge zur Ortsbestimmung im Spectrum angewandt zu haben. Seine Messung und sein Atlas der Sonnenlinien haben zwei Decennien hindurch die Grundlage aller Spectraluntersuchungen gebildet. Eine Ergänzung zu den Arbeiten Angström's, welche nur den sichtbaren Theil des Sonnenspectrums behandeln, bilden die Untersuchungen Cornu's [3]) bezüglich des ultravioletten, und diejenigen Langley's [4]) und Abney's [5]) hinsichtlich des infrarothen Theiles.

Nach Angström's Tode zeigte Thalén [6]), dass Ersterer sich in Bezug auf den von ihm benutzten Meterstab geirrt hatte, und seine Wellenlängenbestimmungen zu klein ausgefallen sind.

Dies ergab sich auch aus den von Müller und Kempf [7]) 1886 mit grosser Genauigkeit ausgeführten Messungen von 300 Sonnenlinien, welche dem Potsdamer System zu Grunde gelegt sind. Indessen wurden auch alle diese Wellenlängenbestimmungen noch übertroffen durch den von Rowland [8]) 1888 herausgegebenen Atlas des Sonnenspectrums und sein 1893 veröffentlichtes Verzeichniss von Normallinien. Die grosse relative Genauigkeit, welche durch die von Rowland 1881 erfundenen Concavgitter, durch die damit ohne Linse herstellbaren Photographien und durch seine vergleichenden Positionsbestimmungen (Coincidenzmethode) erreichbar wurde, hat die Spectralforschungen wesentlich gefördert.

Mit den Fortschritten in der Kenntniss des Sonnenspectrums hat die Messung der Spectra irdischer Körper lange Zeit nicht Schritt gehalten. Zwar wurden die für ihre Zeit verdienstvollen Linienbestimmungen von Kirchhoff und von Huggins durch die genaueren Messungen Thalén's [9]) ersetzt, doch blieben auch diese auf den sichtbaren Theil des Spectrums beschränkt. Abgesehen von den bereits im Jahre 1862 von W. A. Miller [10]) gemachten unvollkommenen Aufnahmen des Ultravioletts, sind die ersten genaueren Untersuchungen

---

[1]) Huggins, Phil. Trans. **154** (1864). — [2]) Angström, Recherches sur le spectre normal du soleil avec atlas de 6 planches, Upsala 1868. — [3]) Cornu, Spectre normal du Soleil. Partie ultraviolette, Paris 1881, p. 22. — [4]) Langley, Phil. Mag. [5] **21**, 394; **22**, 149; **26**, 505. — [5]) Abney, Phil. Trans. 1880, p. 653. Wied. Ann. Beibl. **4**, 375; **5**, 507. Compt. rend. **90**, 182. — [6]) Thalén, Spectre du fer. Acta R. Soc. Scient. Upsala [3] 1884, p. 49. Wied. Ann. Beibl. **9**, 520. — [7]) Müller u. Kempf, Publ. d. Astrophys. Obs. zu Potsdam **5** (1886). — [8]) Rowland, Photographic Map of the Normal Solar Spectrum, Johns Hopkins Univ. Baltimore; Astronomy and Astrophysics **12**, 321 (1893). Phil. Mag. [5] **36**, 49 (1894). — [9]) Thalén, Nova Acta Soc. Scient. Upsala [3] **6**, 1868. — [10]) W. A. Miller, Phil. Trans. **152**, 861 (1862).

in diesem Gebiete 1881 von Lockyer[1]) gemacht. Er liess dieselben indess bald liegen und es blieb Hartley und Adeney[2]), sowie Liveing und Dewar[3]) vorbehalten, dieses wichtige Gebiet des Spectrums zuerst eingehend zu erforschen.

Der gewichtigen Aufgabe, eine Neumessung der Emissionsspectren irdischer Stoffe mit Hülfe der von Rowland vervollkommneten Beobachtungsmethoden vorzunehmen, haben sich Kayser und Runge[4]) seit 1888 mit grossem Erfolge unterzogen. Sie begannen diese Messungen, um die Gesetzmässigkeiten zu erforschen, welche die Linien eines Elementes unter einander verbinden und die Verwandtschaft der Spectren verschiedener Elemente beherrschen. Schon bald nach der Entdeckung der Spectralanalyse durch Kirchhoff und Bunsen suchte man solche Gesetzmässigkeiten aufzufinden. Man glaubte zunächst, dass die Spectrallinien einen ähnlichen Zusammenhang aufweisen, wie die Tonwellen einer Saite, die aus Grundton und harmonischen Obertönen zusammengesetzt sind. Nachdem aber Schuster[5]) 1880 die Aussichtslosigkeit solcher Versuche dargethan, gelang es 1885 Balmer[6]), eine Formel aufzufinden, welche die Wasserstofflinien in Wellenlängen richtig darstellt. Diesen Untersuchungen, sowie den Beobachtungen von Liveing und Dewar[7]) über harmonische Serien gleichartiger Linien schliessen sich die Arbeiten Kayser und Runge's[4]) an, durch welche der gesetzmässige Bau einer Reihe von Spectren aufgedeckt wurde. Unabhängig von Kayser und Runge kam gleichzeitig Rydberg[8]) zu ähnlichen Resultaten. Die in dieser Richtung vorgenommenen Untersuchungen haben das Forschungsgebiet der Spectralanalyse wesentlich erweitert und vertieft.

Physikalische Grundlage[9]). Das Licht ist nach der allgemein angenommenen Huygens'schen Theorie eine Wellenbewegung des freien Aethers, welche sich durch Schwingungen von Theilchen zu Theilchen mit grosser Geschwindigkeit fortpflanzt. Die Ausbreitung der Lichtstrahlen erfolgt geradlinig und kugelschalenförmig, und es steht die Schwingungsrichtung der bewegten Theilchen senkrecht zu der Fortpflanzungsrichtung des Strahles. Bei der grossen Elasticität des Aethers und bei der Leichtigkeit, mit welcher die Schwingungen sich weiter verbreiten, können einzelne Lichtstrahlen nicht für sich auftreten, es handelt sich vielmehr immer um einen aus einer Anzahl

---

[1]) Lockyer, Phil. Trans. **163**, 253, 639 (1873); **164**, 479, 805 (1874); Proc. Roy. Soc. **25**, 546; **27**, 49, 279, 409; **28**, 157. — [2]) Hartley und Adeney, Phil. Trans. 1884, p. 63. — [3]) Liveing u. Dewar, Ebend. **174**, 187. Proc. Roy. Soc. **34**, 119, 123. Wied. Ann. Beibl. **6**, 934; **7**, 849. — [4]) Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1888 bis 1894; Runge, Rep. Br. Assoc. 1888, 576. — [5]) Schuster, Brit. Assoc. Rep. 1880. — [6]) Balmer, Wied. Ann. **25** (1885). — [7]) Liveing u. Dewar, Phil. Trans. **174**, 208 (1883). — [8]) Rydberg, Compt. rend. **110**, 394 (1890); K. Vetenskaps Akad. Handl. **23**, Stockholm 1890. — [9]) Siehe Handwörterbuch **4**, 87 und die Lehrbücher der Physik.

von Strahlen zusammengesetzten Büschel. Nimmt man an, dass die Schwingungen sehr klein oder sehr weit vom Erregungspunkte sind, so können die Strahlen als unter sich parallel gedacht werden.

Die mehr oder minder grosse Häufigkeit der Lichtschwingungen erweckt im menschlichen Auge die Empfindung der verschiedenen Farben. Die Zahl der Schwingungen ist für jede Farbe constant, die Länge der Wellen dagegen im gleichen Mittel verschieden. Da alle Lichtstrahlen sich im freien Aether, im leeren Raume und nahezu auch in der Luft mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen, so ist die Schwingungszahl in dem Maasse kleiner oder grösser, als die Wellen länger oder kürzer sind.

Wellenlänge. Man kann die Wellenlänge, welche einer bestimmten Farbe in Luft zukommt, direct bestimmen und hat gefunden, dass sie z. B. für das äusserste sichtbare Roth (A-Linie) 0,00076 mm, für die gelbe D_1-Linie 0,000589 mm und für das äusserste sichtbare Violett (K-Linie) 0,00039 mm beträgt. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit (v) des Lichtes bekannt ist und ca. 300 000 km in der Secunde beträgt, so erfährt man die Schwingungszahl (n), indem man jene durch die Wellenlänge λ dividirt ($n = v : \lambda$). Auf diese Weise findet man als Schwingungszahl für die rothe A-Linie 395 Billionen, für die gelbe D_1-Linie 509 Billionen und für die violette K-Linie 763 Billionen per Secunde.

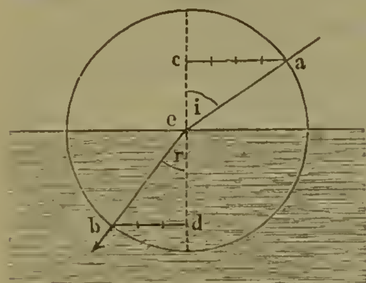
Da man sich von solchen Zahlen keine Vorstellung machen kann, sie auch unbequem zu schreiben sind, so bedient man sich allgemein der Wellenlängen, obschon diese sich mit dem Mittel ändern, zur Kennzeichnung der Farben. Als Einheitsmaass für die Wellenlänge λ im leeren Raume nimmt man den millionsten Theil eines Millimeters, 0,001 Mikron, und bezeichnet es nach dem Vorschlage Kayser's mit dem Zeichen $\mu\mu$. Ein Zehntel dieses Maasses (0,1 $\mu\mu$) nennt man eine Angström'sche Einheit (A.-E.).

Reflexion. Während ein rauher, nicht selbst leuchtender Körper das auf ihn fallende Licht, soweit er es nicht absorbirt oder durchlässt, diffus nach allen Seiten zurückwirft, wodurch es sichtbar wird, reflectiren glatte, polirte Flächen, Spiegel, das Licht nur nach ganz bestimmten Richtungen. Errichtet man in dem Punkte, wo ein Strahl die spiegelnde Fläche trifft, ein Loth, so liegen der einfallende und der zurückgeworfene Strahl damit in einer Ebene und bilden damit Winkel von gleicher Grösse.

Brechung. Geht das Licht aus einem Mittel in ein anderes über, etwa von Luft in Wasser oder Glas, so wird ein Theil des Lichtstrahles dem Reflexionsgesetz entsprechend zurückgeworfen, der andere tritt in das neue Mittel ein. Es verfolgt darin aber keine gerade Richtung (Fig. 1), sondern eine abgelenkte, steilere, ein Vorgang, der Brechung oder Refraction genannt wird. Hierbei liegen der einfallende Strahl ac und der gebrochene cb mit dem in das neue Mittel

verlängerten Einfallsloth cd in einer Ebene. Wenn das Licht aus einem dünneren Mittel in ein dichteres übergeht, so nähert sich der gebrochene Strahl dem Einfallslothe, im anderen Falle entfernt er sich davon.

Fig. 1.



Eine Bedingung für die Lichtbrechung ist, dass der Strahl in schiefer Richtung auffällt. Ein senkrecht eintretender geht in gerader Richtung weiter.

Jedem Einfallswinkel entspricht ein bestimmter Brechungswinkel, und zwar steht nach dem Snell'schen Gesetz der Sinus (ac) des Einfallswinkels (i) zum Sinus (bd) des Brechungswinkels (r) für die gleichen zwei Mittel im bestimmten Verhältniss (n), und zwar ist

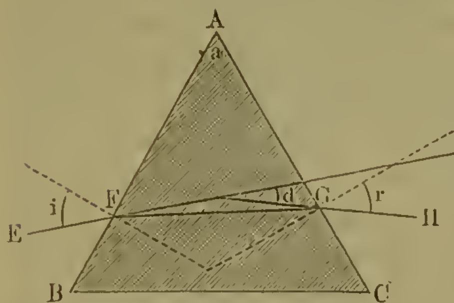
$$n = \frac{\sin i}{\sin r} \text{ oder } \sin r = \frac{\sin i}{n} \text{ oder } \sin i = n \sin r.$$

Dieses Verhältniss wird Brechungsindex, Brechungscoëfficient oder Brechungsexponent genannt. Jeder durchsichtige Körper besitzt ein besonderes Brechungsverhältniss; dasselbe beträgt für D-Licht und 20⁰ im

Wasser	1,3333
Alkohol	1,3616
Schwefelkohlenstoff	1,6276
α-Bromnaphtalin	1,6582
Zimmtsäureäthyläther (bei 18,8⁰)	1,5607
Crownglas	1,515 bis 1,615
Flintglas	1,614 „ 1,762
Jenaer schwerstes Silicatflintglas (Nr. 557)	1,9625
Quarz (ordinärer Strahl)	1,5442
Flussspath	1,4339

Geht das Licht durch planparallele Platten, so wird der eintretende Strahl dem Einfallslothe in demselben Maasse genähert, wie der austretende sich davon entfernt, die beiden Strahlen sind daher parallel.

Fig. 2.



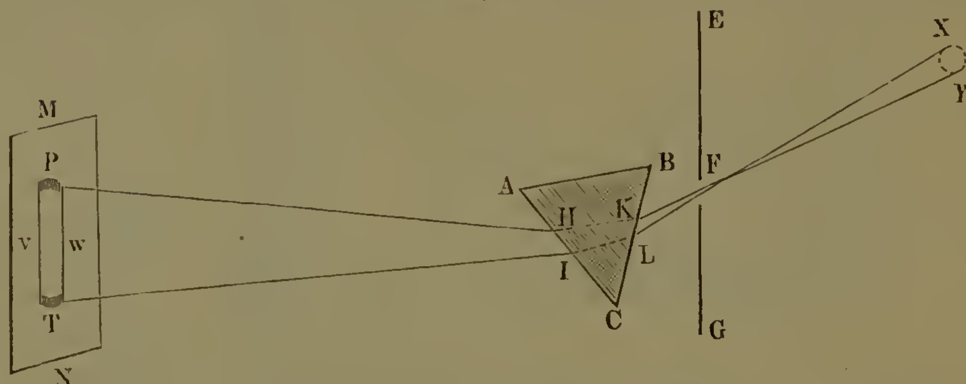
Prisma. Ein durchsichtiger Körper mit zwei geschliffenen, keilförmig zu einander geneigten Platten heisst ein Prisma. Die gewöhnlichen, einfachen Glasprismen haben ein gleichseitiges Dreieck im Querschnitt (Hauptschnitt) (Fig. 2); die beiden geschliffenen Seiten AB und AC sind die brechenden Flächen, welche den brechenden Winkel a einschliessen und die brechende Kante A bilden. Fällt ein Lichtstrahl in der Ebene des Hauptschnittes auf eine Seitenfläche, so

wird er nach dem Brechungsgesetze beim Eintritt und Austritt abgelenkt, und zwar in der Richtung zum breiteren Theile des Prismas. Diese Ablenkung ist gleich dem Winkel d, den der einfallende und der gebrochene Strahl mit einander bilden und ebenfalls gleich der Summe des Einfalls- und Austrittswinkels, vermindert um den brechenden Winkel. Die Winkel i, r und a stehen in Beziehung zu einander, und es kann daher durch Berechnung gefunden werden, dass — wie die Beobachtung lehrt — bei einem gewissen Stande des Prismas die Ablenkung am geringsten ist. Dieses Minimum der Ablenkung findet statt, wenn der Lichtstrahl mit den brechenden Flächen innerhalb und ausserhalb des Prismas gleiche Winkel bildet, d. i. wenn er das Prisma symmetrisch durchläuft. Misst man mit dem Goniometer die kleinste Ablenkung eines Strahles und den brechenden Winkel, so kann man den Brechungsexponenten n des Prismamaterials berechnen:

$$n = \frac{\sin {}^1/_2\,(d + a)}{\sin {}^1/_2\, a}.$$

Dispersion. Bei der Brechung wird der Lichtstrahl nicht nur aus seiner Richtung abgelenkt, sondern auch, sobald es sich um eine

Fig. 3.



homogene Lichtart handelt, an sich verändert; ein weisser Lichtstrahl wird in ein regenbogenfarbiges Band verwandelt, wie man dies am besten durch ein Prisma wahrnimmt. Die Lichtwellen der einzelnen farbigen Strahlen, aus denen das weisse Licht zusammengesetzt ist, pflanzen sich zwar im leeren Raume mit gleicher Schnelligkeit fort, nicht aber beim Uebergange in ein dichteres Medium. Hierbei erleiden die am schnellsten schwingenden violetten Strahlen die grösste, die am langsamsten schwingenden rothen Strahlen die kleinste Verminderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit; jene werden am stärksten, diese am schwächsten gebrochen. Die einzelnen Strahlengattungen des weissen Lichtes können durch ein Prisma wohl von Neuem abgelenkt, nicht aber nochmals zerlegt werden, und sind daher einfache, homogene Lichtarten. Durch eine Sammellinse lassen sich alle Strahlen zusammen wieder zu weissem Licht vereinigen.

Diese für die Spectralanalyse, wie überhaupt für die Lehre vom Licht grundlegenden Versuche wurden von Newton 1668 angestellt und in seiner Abhandlung über Optik 1675 beschrieben. Er liess Sonnenlicht durch eine kleine Oeffnung xy (Fig. 3) im Fensterladen eines verfinsterten Zimmers eintreten und untersuchte die Strahlen mit einem Prisma ABC, wobei dieselben abgelenkt und zu einem farbigen Bande PT ausgebreitet wurden, das er Spectrum nannte und auf dem weissen Schirme MN auffing. Indem Newton die farbigen Strahlen durch ein zweites Spectrum betrachtete, empfing er wieder den Eindruck von weissem Licht; versuchte er aber einzelne Strahlen, welche durch das erste Spectrum hindurchgegangen waren, durch ein zweites Prisma zu zerlegen, so trat wohl eine neue Ablenkung, aber keine weitere Zerlegung der Strahlen ein.

Anomale Dispersion. Der Brechungsexponent eines Mediums ist in der Regel um so grösser, je kleiner die Wellenlänge des betreffenden Lichtes ist; er wächst im sichtbaren Theile des Spectrums constant vom rothen Ende zum blauen. Von dieser Regel weichen einige Körper ab, indem ihre Lösungen, als brechende und dispergirende Substanz benutzt, den umgekehrten Zusammenhang zwischen Brechungsexponent und Dispersion aufweisen. Man nennt diesen Vorgang die anomale Dispersion [1]).

Reines Spectrum. Lässt man nach Newton's Angabe die Lichtstrahlen durch ein rundes Loch auf das Prisma fallen, so werden die einfachen Farben nicht völlig von einander getrennt, weil die Bilder wegen ihrer runden Form über einander greifen. Um die verschiedenartigen Farben möglichst vollkommen von einander zu trennen und ein reines Spectrum zu erzielen, benutzt man seit Wollaston [2]) an Stelle der runden Oeffnung einen schmalen Spalt für den Eintritt des Lichtes. Da von dem lichtgebenden Spalte so viele Bilder entworfen werden, als in seinem Lichte Wellenlängen vertreten sind, so greifen die Spaltbilder um so weniger in einander über, je enger der Spalt ist.

Das Spectrum kann durch eine Lupe beliebig vergrössert werden.

Das Trennungsvermögen eines Primas oder Prismensystems hängt nicht allein von der Dispersion des Prismas ab, sondern hauptsächlich, wie Rayleigh [3]) nachgewiesen, von der Weglänge, welche der Lichtstrahl im zerstreuenden Mittel zurücklegt. Bei schwerem Flintglas ist die Dicke, welche zur Trennung der D-Linien nöthig ist, = 1,02 cm. Nimmt man dieses Maass, rund 1 cm, zur Einheit, so ist die Trennungskraft eines Prismas aus ähnlichem Glase in der Gegend

---

[1]) Christiansen, Pogg. Ann. **141**, 479 (1870); **143**, 250 (1871). Kundt, Ebend. **143**, 259 (1871); **144**, 128; **145**, 67 (1872). Sieben, Wied. Ann. **8**, 137 (1879). Sellmeier, Pogg. Ann. **145**, 396, 520; **147**, 386, 525 (1872). H. v. Helmholtz, Monatsber. Berl. Akad. 1874, S. 667. Pogg. Ann. **154**, 582 (1874). — [2]) Wollaston, Phil. Trans. 1802, p. 378. — [3]) Lord Rayleigh, Phil. Mag. [5] 9, 269 (1879).

der *D*-Linien gleich der Zahl von Centimetern seiner Dicke. In anderen Theilen des Spectrums ist das Auflösungsvermögen der dritten Potenz der Wellenlänge umgekehrt proportional, so dass es im Violett achtmal grösser ist, als im Roth; es entspricht mithin der Gesammtdicke oder Basenlänge des Prismas bezw. des Prismensystems, unabhängig von der Zahl, den Winkeln und der Zusammenfügung der einzelnen Prismen, welche das System bilden.

Gitter. In der Optik nennt man Gitter eine mit zahlreichen parallelen Spalten versehene Vorrichtung, mit deren Hülfe man ähnlich, wie mit dem Prisma, Spectra hervorbringen kann. Diese Gitter sind zuerst von Fraunhofer [1]) angewandt. Anfangs benutzte er ein Drahtgitter, das er erhielt, indem er einen feinen Metalldraht oft um zwei gleiche, parallel zu einander befestigte Schrauben von sehr feinem Gewinde wickelte; dann gravirte er zahlreiche feine, dicht bei einander in gleicher Entfernung stehende Striche in eine auf Glas gekittete dünne Goldplatte, und später ritzte er mit dem Diamanten matte Striche auf eine Glasplatte.

In neuerer Zeit hat man die Herstellung solcher Gitter durch Verwendung guter Theilmaschinen wesentlich vervollkommnet. Man stellt zweierlei Gitter her, durchlässige auf Glas bis zu 800 Strichen auf 1 mm und Reflexionsgitter auf Spiegelmetall, welche das Licht nicht durchlassen, sondern reflectiren, und welche, weil sie weniger Licht absorbiren, für spectroskopische Versuche vorzuziehen sind. Nachdem Rutherfurd in Amerika die Herstellung solcher Gitter wesentlich verbessert, hat Professor Rowland in Baltimore sie seit 1882 auf einen ausserordentlich hohen Grad der Vollkommenheit gebracht. Seine Plan- und Concavgitter mit 10000, 14438 und 20000 Furchen per engl. Zoll (2,54 cm) sind nahezu ganz ohne Fehler und ziemlich frei von den fast immer vorhandenen Geistern (schwachen Nebenlinien neben den eigentlichen Linien).

Beugung. Betrachtet man durch ein Glasgitter einen hell beleuchteten feinen Spalt, dessen Ränder mit den Gitterlinien parallel sind, so sieht man in der Mitte ein helles Bild des Spaltes und zu beiden Seiten eine Reihe von Spectren, bei denen die violetten Strahlen, welche die kleinsten Wellenlängen haben, dem Mittelpunkte am nächsten liegen und der rothe Theil am entferntesten ist. In jedem Spectrum befindet sich bei ziemlich gleicher Ausdehnung der einzelnen Farbenfelder Gelb in der Mitte. Die mehrfachen, zu beiden Seiten des Spaltbildes auftretenden Spectren werden nach ihrer Reihenfolge vom Mittelpunkte Spectren erster, zweiter . . . . . *m* ter Ordnung genannt. Nur das Spectrum erster Ordnung ist völlig rein, die übrigen sind durch Uebereinanderlagerung der Spectren verwischt, können aber mit Hülfe

---

[1]) Fraunhofer, Denkschriften d. Münchener Akad. 8 (1822). Gilbert's Ann. 74, 337.

eines kleinen Prismas, wie bei der Beschreibung der Apparate erwähnt, rein erhalten werden. — Mit der höheren Ordnung werden die Spectren auch lichtschwächer.

Die Entstehung der Gitterspectren erklärt sich aus der Beugung (Diffraction) des Lichtes. Letzteres geht nicht nur in gerader, sondern auch in seitlicher Richtung durch die Zwischenräume des Gitters, indem es an den scharfen Kanten der undurchsichtigen Theile abgelenkt (gebeugt) wird. Die Vibrationstheorie erklärt diese Erscheinungen damit, dass eine auf einen feinen Spalt fallende Lichtwelle die hier vorhandenen Aethertheilchen in Schwingungen versetzt, welche sich den benachbarten Aethertheilchen mittheilen. Hierdurch entstehen ebenso viele neue, von ihnen ausgehende Aetherwellen, welche sich nach dem Interferenzgesetze nicht nur verstärken, sondern auch abschwächen oder vernichten können, je nachdem sie in gleichen oder entgegengesetzten Schwingungen auf einander treffen. Sie vernichten sich in jeder Richtung, für welche der Gangunterschied zweier Nachbarbündel nicht eine ganze Zahl von Wellenlängen ausmacht. Bei der Beugung von weissem Licht durch ein Gitter ist das mittlere Spaltbild weiss, weil sich hier alle Farben auf einander häufen. Die farbigen Strahlen, welche zum Gangunterschiede je einer Wellenlänge gehören, legen sich nach Maassgabe der Wellenlängen neben einander und bilden auf jeder Seite des Spaltbildes das Spectrum erster Ordnung. In gleicher Weise bilden die Strahlen höherer Gangunterschiede die Spectren zweiter, dritter . . . . . *m* ter Ordnung.

Durch Messung des Beugungswinkels mit dem Goniometer und durch Bestimmung des Abstandes zweier Gitterstriche erhält man ein Maass für die Wellenlängen. Auf diese Weise fand Angström folgende Werthe in Zehnmillionteln Millimeter für Fraunhofer'sche Linien:

A	*B*	*C*	D_1	*E*	*F*	*G*	*H*
7604	6867	6563	5895	5269	4861	4307	3968

Das Trennungsvermögen eines Gitters ist von der Gesammtzahl seiner Furchen und der betreffenden Ordnung des Spectrums abhängig. Im ersten Spectrum sind etwa 1000 Linien erforderlich, um die *D*-Linien zu trennen. Ein grosses Rowland'sches Gitter vermag in der *D*-Gegend des ersten Spectrums zwei Linien zu trennen, deren Wellenlänge um 0,05 A.-E. verschieden ist.

Vorzüge der Beugungs- und Brechungsspectren. Die ersteren Spectra zeichnen sich den letzteren gegenüber dadurch aus, dass bei ihnen die Ablenkung der Strahlen den Wellenlängen proportional ist, und dass — wenn auch die Ausdehnung der Spectren mit der Zahl der Gitterlinien wächst — die Vertheilung der Farbenfelder stets eine gleichmässige bleibt. Bei dem Prismenspectrum wächst die Brechbarkeit mit abnehmender Wellenlänge, die violetten und blauen Strahlen sind daher aus einander gezogen, die rothen zusammengedrängt.

Zudem wird die Breite der Farbenfelder von dem Material des Prismas beeinflusst, so dass mit verschiedenen Spectroskopen gewonnene Versuchsresultate nicht direct vergleichbar sind. Man hat daher das Beugungsspectrum als das typische angenommen und pflegt alle Scalenangaben auf Wellenlängen zurückzuführen.

Das Prismenspectrum hat seinerseits vor dem Beugungsspectrum den Vorzug der grösseren Helligkeit. Nur wenig Licht geht durch Reflexion und Absorption verloren, während beim Gitter ein Theil des Lichtes ungebeugt hindurchgeht, ein anderer durch Interferenz abgeschwächt wird und schliesslich der Rest nicht wie beim Prisma in ein einziges Spectrum, sondern in mehrere zerstreut wird.

Man ist daher bei der Untersuchung minder starker Lichtquellen auf das prismatische Spectrum angewiesen und bedient sich der Gitter nur bei intensivem Licht und in solchen Fällen, wo eine hohe Dispersion zweckdienlich ist. In Bezug auf letztere leistet ein grosses Rowland'sches Gitter in der Gegend der *D*-Linien dasselbe wie eine Prismenlänge von 126 cm. Nach dem Violett zu ändert sich allerdings das Verhältniss zu Gunsten der Prismen. Bei λ 2000 ist für gleiche Leistung nur eine Prismendicke von 4 cm erforderlich.

Apparate.

Die mannigfaltigen Constructionen der spectralanalytischen Apparate bestehen im Principe aus Prismenspectroskopen [1]) mit abgelenktem und mit geradem Lichtstrahl einerseits und Gitterspectroskopen [2]) andererseits. Je nachdem die Instrumente zu besonderen Zwecken, wie exacten Messungen, quantitativen und photometrischen Untersuchungen, zu mikroskopischen und astronomischen Beobachtungen, oder zur Herstellung von Spectralphotographien benutzt werden sollen, kommen besondere Formen in Betracht.

Prismenspectroskope mit abgelenktem Strahle.

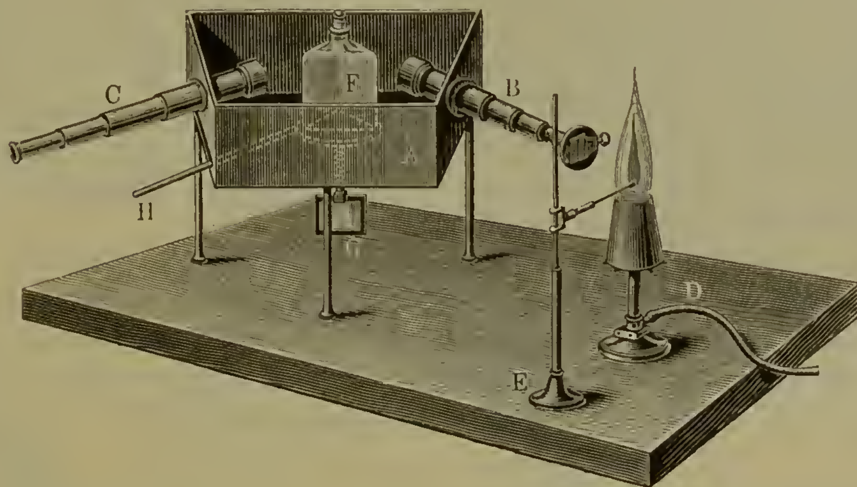
Der von Kirchhoff und Bunsen [3]) zu ihren ersten spectralanalytischen Versuchen benutzte Apparat, Fig. 4, bestand aus dem hohlen, mit Schwefelkohlenstoff gefüllten Glasprisma *F*, aus einem achtmal ver-

---

[1]) Bezüglich der Theorie von den Prismen der Spectroskope vergl. Rensch, Pogg. Ann. **117**, 241 (1862); Pickering, Sillim. Journ. **45**, 301 (1868); Christie, Proc. Roy. Soc. **26**, 9 (1877); Thollon, Journ. de phys. d'Almeida, **7**, 141 (1878). — [2]) Bezüglich der Theorie der Gitter vergl. Rowland, Phil. Mag. [5] **13**, 1892; **16**, 197; Astronomy and Astrophysics **12**, 129 (1893); Ames, Johns Hopkins Univ. Circular **8**, Nr. 73, p. 69 (1889); Phil. Mag. [5] **27** (1889); Runge, Winkelmann's Handb. d. Phys., Breslau 1894, S. 407; Glazebrook, Phil. Mag. [5] **27** (1889); Mascart, Journ. de phys. d'Almeida [2] **2** (1883); Lord Rayleigh, Phil. Mag. [4] **47** (1874). — [3]) Kirchhoff u. Bunsen, Chem. Analyse durch Spectralbeobachtungen; Pogg. Ann. **110**, 167.

grössernden Fernrohre C und dem Spaltrohre (Collimator) B, welches an dem der Lichtquelle zugewandten Ende mit einer Platte verschlossen war, die einen feinen Spalt besass und am anderen Ende eine Sammellinse hatte. Letztere bewirkte, dass die durch den Spalt

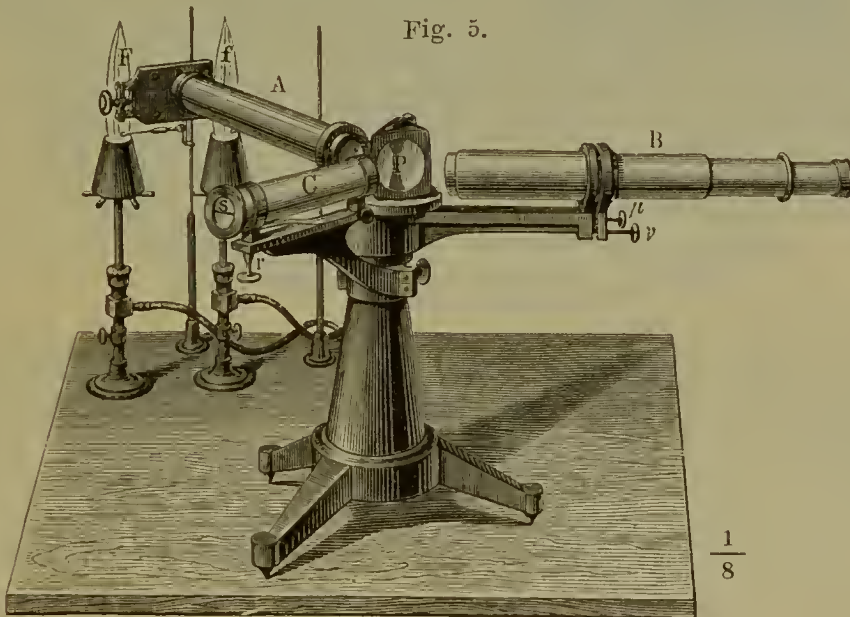
Fig. 4.



eingetretenen, von der Lichtquelle D kommenden Strahlen in paralleler Richtung auf das Prisma fielen.

Schon bald darauf wandten Kirchhoff und Bunsen eine wesentlich vervollkommnete, von Steinheil in München herrührende Form des

Fig. 5.



Apparates an, wie sie noch heute gebräuchlich ist (Fig. 5). Ein Flintglasprisma von 60° P ist an einem gusseisernen Gestelle befestigt, welches das Spalt- oder Collimatorrohr A, das Beobachtungsfernrohr B und das Scalenfernrohr C trägt. Die am Collimator A angebrachte

Spaltvorrichtung ist im vergrösserten Maassstabe in Fig. 6 dargestellt [1]). Der durch eine Mikrometerschraube verstellbare Spalt hat an seinem unteren Theile ein kleines Reflexionsprisma (Fig. 7), durch dessen Hülfe eine seitwärts vom Spalt befindliche zweite Lichtquelle gleichzeitig untersucht werden kann. Ordnet man den Versuch an, wie er in Fig. 5 angegeben ist, so erscheint das Spectrum der Flamme F über dem der Flamme f, so dass man auf den ersten Blick erkennen kann, ob erstere die Bestandtheile enthält, die man vermuthet, und welche man in der Vergleichsflamme zur Verflüchtigung gebracht hat. In dem Rohre C befindet sich die Millimeterscala S, welche durch eine kleine leuchtende Flamme erhellt und von der dem Fernrohr nächsten Prismenfläche in das Beobachtungsfernrohr B reflectirt wird.

Die Einstellung eines solchen Spectralapparates geschieht auf folgende Weise: Man schraubt das Beobachtungsfernrohr ab und stellt es durch Visiren nach einem entfernten Punkte auf Unendlich ein. Ist ein Fadenkreuz im Rohre angebracht, so muss man zuvor das Ocular darauf scharf einstellen. Dann bringt man das Fernrohr wieder an

Fig. 6.

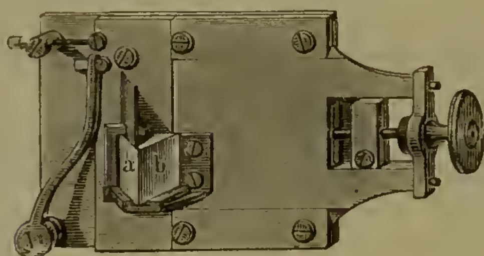
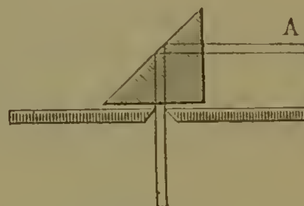


Fig. 7.



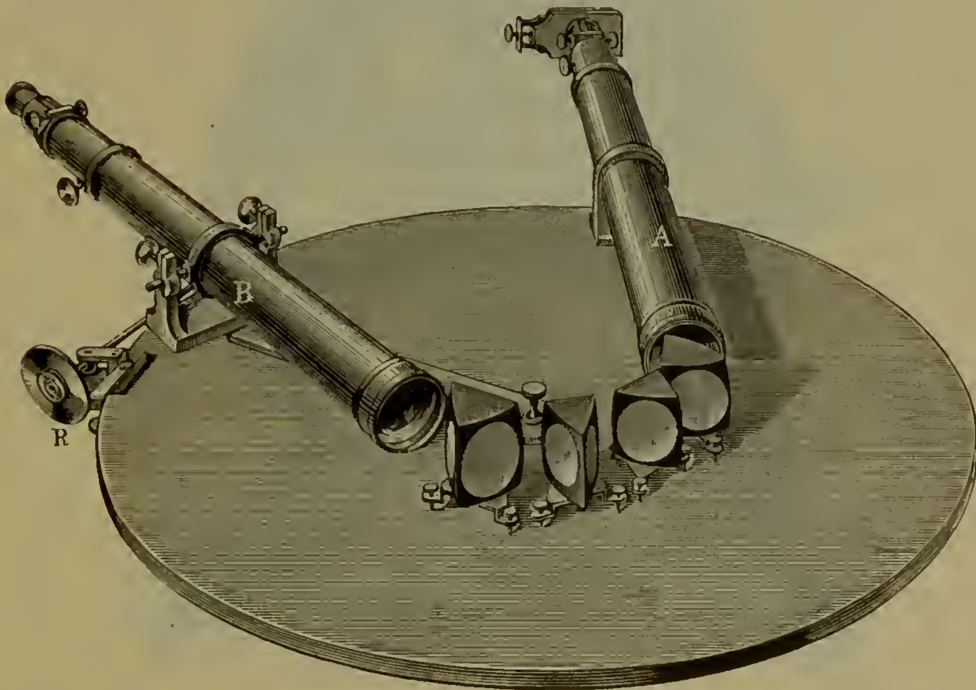
seinen Ort und zieht das Spaltrohr so weit aus, dass die Spectrallinien scharf hervortreten, z. B. die Natriumlinie doppelt erscheint. Auch das Scalafernrohr wird so weit ausgezogen, bis die Theilung vollkommen deutlich zu erkennen ist. An vielen neueren Apparaten haben die Rohre A und C von vornherein die Länge, welche den Brennweiten ihrer Linsen zukommt, so dass man nur das Ocular für das eigene Auge einzustellen hat.

Das letzt beschriebene Spectroskop reicht für die Arbeiten im chemischen Laboratorium aus, nicht aber für astronomische Zwecke, für welche eine grössere Dispersion nothwendig ist. Man erreicht diese dadurch, dass man statt eines Prismas mehrere anwendet. Der von Steinheil gebaute Apparat, welchen Kirchhoff bei der Zeichnung des Sonnenspectrums benutzte, Fig. 8, bestand aus vier Prismen und besass trotz seiner Einfachheit eine grosse Empfindlichkeit. Der Licht-

[1]) Die Herstellung guter Spaltvorrichtungen, welche für die Erzielung klarer Spectra von wesentlichem Einflusse sind, hat im Laufe der Zeit mit der fortschreitenden Technik grosse Verbesserungen erfahren, sowohl in Bezug auf den Oeffnungsmechanismus der Spaltbacken, wie in Hinsicht auf die Unveränderlichkeit des Materials, aus dem sie gefertigt werden.

strahl durchläuft nach einander vier Flintglasprismen von 60°, 45°, 45°, 45° und erleidet eine Ablenkung von 130°, wodurch das Spectrum eine grosse Ausdehnung erhält. Das Fernrohr hatte eine 36- und 72fache Vergrösserung, der Collimator einen durch Mikrometerschlitten gebildeten, beliebig verstellbaren Spalt und ein Vergleichsprisma. Das Beobachtungsfernrohr bewegte sich auf einer Kreistheilung und wurde durch eine Mikrometerschraube gedreht. Auf diese Weise konnte der Abstand der einzelnen, vor das Fadenkreuz des Fernrohres gebrachten Linien gemessen werden. Man konnte bei diesem Apparate statt dieser Messvorrichtung auch ein auf der Abbildung nicht angebrachtes Scalafernrohr benutzen; da aber das Spectrum viel länger ist als die Scala, so musste man dann deren Stelle oft wechseln.

Fig. 8.



Bei dem Kirchhoff'schen Spectroskop mussten die Prismen mit der Hand bewegt werden, damit sie, wenn eine bestimmte Farbe in die Mitte des Sehfeldes gebracht wurde, wieder die Stellung der kleinsten Ablenkung einnahmen. Da diese Art der Einstellung sehr umständlich ist, so hat Browning die in Fig. 9 (a. f. S.) dargestellte Einrichtung getroffen, bei welcher die Einstellung in bequemer Weise automatisch erfolgt. Die Prismen sind unter einander und mit dem Beobachtungsfernrohre durch Charniere verbunden und stehen ausserdem durch Stäbe, die mit einem Ausschnitt versehen sind, mit einem centralen Stift in Verbindung. Stellt man das Fernrohr auf irgend einen besonderen Strahl ein, so werden die Prismen ohne weiteres Zuthun so gedreht, dass der Strahl sie symmetrisch durchläuft (Fig. 9).

Um die Dispersion zu erhöhen, kann man verschiedene Wege einschlagen. Entweder vermehrt man die Zahl der Prismen, oder man führt den Lichtstrahl wiederholt durch dieselben Prismen, oder man verwendet gefüllte Hohlprismen mit grösserem Brechungsvermögen, als die Glassorten besitzen. Auf die erstgenannte Weise hat Browning durch Anwendung von neun Prismen für Gassiot ein Spectroskop von grosser Dispersion gebaut. Denselben Zweck erreichten Grubb[1]), C. A. Young und Lockyer nach dem Vorgange Littrow's[2]) dadurch, dass der Lichtstrahl zweimal die nämlichen Prismen durchsetzt. Wie Fig. 10 zeigt, durchläuft der Lichtstrahl zunächst den oberen Theil der

Fig. 9.

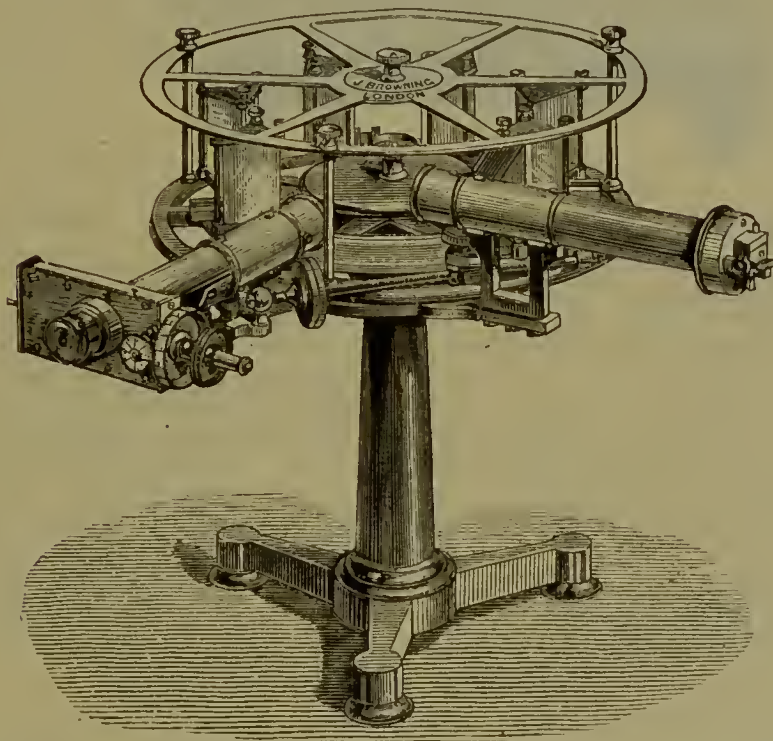


Prismen und wird dann durch ein totalreflectirendes Prisma so abgelenkt, dass er in der unteren Hälfte zurückkehrt. Unter Benutzung dieses Principes hat Browning ein ausserordentlich kräftiges Spectroskop (Fig. 10) construirt, das für jede Art spectralanalytischer Arbeiten im Laboratorium und in der Sternwarte zu verwenden ist. Das Instrument besitzt sechs Prismen und das Reflexionsprisma zur Zurückführung des Lichtstrahles, wodurch es die Wirkung von zwölf Prismen erhält. Durch Veränderung der Stellung eines Prismas kann man, ohne an der Einrichtung des Apparates irgend etwas zu ändern, nach Belieben die Dispersionskraft von zwei bis zwölf Prismen benutzen. Die Minimal-

[1]) Grubb, Monthly notices of the Royal Astron. Society 30, 36. — [2]) Littrow, Wien. Ber. 47, 2, S. 26.

stellung der Prismen für den der Beobachtung unterliegenden Strahl erfolgt in der oben beschriebenen Weise automatisch; die Lage der Spectrallinien wird durch eine Mikrometerschraube gemessen, deren Umdrehung die Einstellung der Prismen regelt. Auch der Vorgang der Zurückleitung des Strahles durch dieselben Prismen lässt sich des Oefteren wiederholen und ist von Hilger in London bei einem grossen Spectroskope mit gutem Erfolge sechsmal angewandt. Indessen hat dieses Verfahren, wie auch die Vermehrung der Prismen, eine Grenze, bei welcher die Vortheile einer stärkeren Dispersion durch Lichtverlust und Einbusse an Klarheit und Schärfe aufgewogen werden. Je länger das Spectrum wird, um so weniger Licht kommt auf seine einzelnen

Fig. 10.



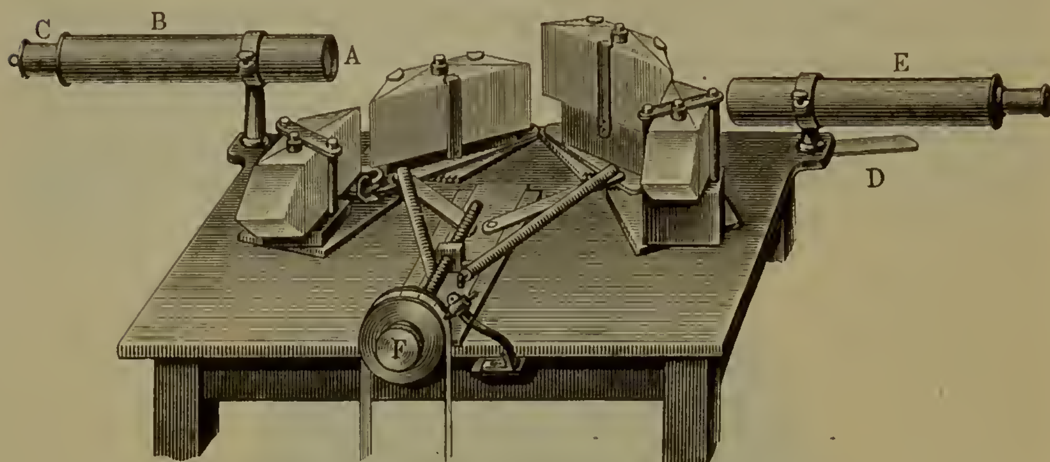
Theile, und ausserdem sind die Prismenflächen nie so vollständig eben und die Gläser nicht so vollkommen gleichartig geschmolzen, dass nicht bei der Benutzung sehr vieler Prismen die Deutlichkeit Einbusse erleidet. Den gewöhnlichen Prismen sind an Dispersion weit überlegen die von Browning und von Rutherfurd [1]) construirten zusammengesetzten Prismen, welche nach letzterem benannt werden. Sie bestehen aus einem Flintglasprisma von solchem Winkel, dass ein auffallender Strahl überhaupt nicht wieder austreten kann. Um dies zu ermöglichen, wird ein schwach zerstreuendes, compensirendes Crownglasprisma auf jede Seitenfläche gekittet, wodurch die Dispersion nicht wesentlich beeinträchtigt wird.

---

[1]) Rutherfurd, Sillim. Journ. [3] 35, 71, 407 (1865).

Thollon[1]) hat einen Apparat (Fig. 11) contruirt, welcher zwar nur aus wenigen Prismen besteht, aber doch kaum von einem anderen Instrumente an Dispersionskraft übertroffen wird. Er verdankt diesen Vorzug neben einer geschickten Berechnung der zweckmässigsten

Fig. 11.



Brechungswinkel der Anwendung von Hohlprismen, welche mit dem stark brechenden Schwefelkohlenstoff gefüllt sind. Die von ihm angewandten Prismen sind sämmtlich zusammengesetzt. Fig. 12 zeigt einen solchen Prismenkörper. Der brechende Winkel des inneren Flintglasprismas ist 90⁰, der des Schwefelkohlenstoffprismas 113⁰, der gegenüberliegende des Crownglasprismas in einem Falle 18⁰, im anderen 31⁰. Der Lichtstrahl durchläuft beim Austritt aus dem Collimator *CBA* zunächst das zusammengesetzte Prisma *A* (Fig. 13) und das Halbprisma *B*, wird dann durch ein Reflexionsprisma *P* auf einer unteren Bahn zurückgeleitet, um in gleicher Weise die symmetrisch angeordneten Prismen *A'*, *B'* und *P'* zu passiren und unterhalb des Prismenkörpers *A* auszutreten. Die Fernrohre des Thollon'schen Spectroskopes sind fest montirt, die Prismen beweglich, unter Beibehaltung der kleinsten Ablenkung. Die Schraube *F*, welche die Führung der Prismen besorgt, bewegt auch einen Papierstreifen, wie er beim Morse'schen Telegraphen gebraucht wird. Sobald eine Linie vor dem Fadenkreuz erscheint, wird durch einen Druck auf den rechts vom

Fig. 12.

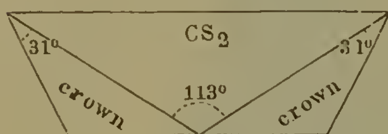
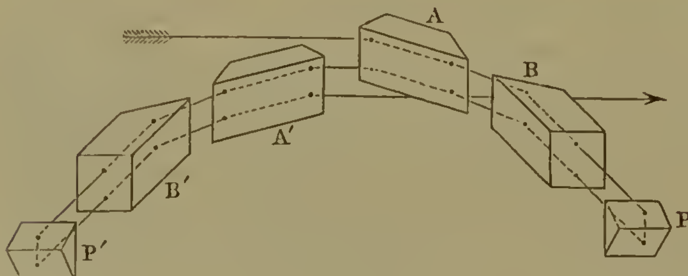


Fig. 13.



[1]) Thollon, Compt. rend. 86, 329, 395, 595; 88, 80; 89, 749.

Beobachtungsfernrohre *E* angebrachten Taster *D* ein Stift in Bewegung gesetzt, der auf dem Papierstreifen eine Marke einprägt.

In Bezug auf alle Apparate mit Schwefelkohlenstoffprismen ist zu berücksichtigen, dass der Brechungsexponent mit der Temperatur schnell wechselt. Eine Temperaturerhöhung von 0,1° C. hat schon die Ortsveränderung einer Linie zur Folge, welche dem Raume zwischen den beiden Natriumlinien gleichkommt. Um mit solchen Prismen genaue Messungen vorzunehmen, muss Vorsorge getroffen werden, dass in den verschiedenen Theilen des Prismas stets die gleiche Temperatur vorhanden ist. Rayleigh sowie Draper erreichten dies durch Anbringung eines selbstthätigen Rührers.

Statt des Schwefelkohlenstoffes sind einige andere stark brechende Flüssigkeiten zur Füllung von Hohlprismen vorgeschlagen, darunter von Wernicke Zimmtsäureäthyläther und von Walter Monobromnaphtalin.

Spectroskope mit gerader Durchsicht.

Schon bei dem zuletzt beschriebenen Spectroskope verfolgt der austretende Lichtstrahl dieselbe Richtung wie der auffallende. Apparate, bei denen Spalt, Linse, Prisma und Fernrohr in einer geraden Linie liegen, nennt man Spectroskope mit gerader Durchsicht oder Spectroskope „à vision directe“. Sie haben den Vortheil, dass man eine Lichtquelle direct anvisiren kann, und dass sie sich leicht mit einem Teleskop oder einem Mikroskop verbinden lassen. Wegen ihrer leichten Handhabung und Transportirbarkeit, ihrer grossen Lichtstärke und ihres billigen Preises finden sie in der Praxis, soweit nicht eine besonders starke Dispersion erforderlich ist, eine weite Anwendung.

Nachdem bereits 1860 Amici einen Prismenkörper aus zwei Crownglasprismen, in deren Mitte ein Flintglasprisma von 90° ein-

Fig. 14.



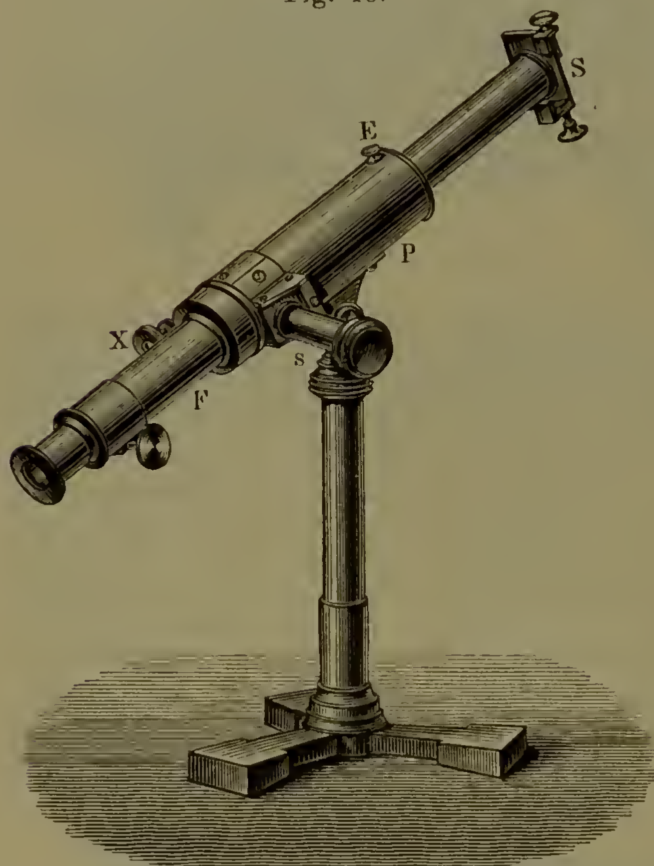
gekittet war, construirt, und eine gerade Durchsicht nahezu erreicht hatte, stellte Janssen[1]) ein Prismensystem zusammen, das aus drei Crownglasprismen (Fig. 14) und zwei Flintglasprismen bestand. Durch eine derartige Anordnung der Prismen wird die Ablenkung, nicht aber

[1]) Janssen, Compt. rend. 55, 576.

die Dispersion ganz aufgehoben. Da das Spectrum des Flintglasprismas fast doppelt so lang ist, wie das des Crownglasprismas, so vermindert sich die Dispersion durch die in entgegengesetzter Richtung erfolgende Brechung nur etwa um die Hälfte. Die gleiche Richtung des eintretenden und austretenden Strahles findet übrigens nur bei einem bestimmten Theile des Spectrums, in der Regel beim grünen, als dem mittleren, statt, die übrigen zweigen sich nach beiden Seiten ab.

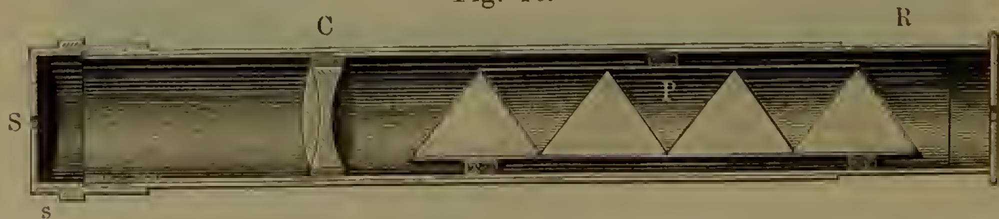
Das von Janssen in Verbindung mit dem Mechaniker Hofmann in Paris construirte Spectroskop ist in Fig. 15 dargestellt; es hat einen aus Stahlschneiden hergestellten, durch eine Schraube regulirbaren Spalt *S* mit Vergleichsprisma, die Sammellinse *E*, den oben erwähnten Prismenkörper, welcher in dem Rohre *P* angebracht ist, und das Fernrohr *F*. Da man mit letzterem nicht das Ganze des Spectrums übersehen kann, so lässt es sich durch die Schraube *X* auf alle Theile desselben einstellen.

Fig. 15.



Weil beim praktischen Gebrauche in den meisten Fällen das Fernrohr entbehrt werden kann, so haben die zuerst von Browning in London construirten Spectroskope mit gerader Durchsicht, welche wegen ihrer geringen Grösse auch Taschen- oder Miniaturspectroskope genannt werden, eine grosse Verbreitung

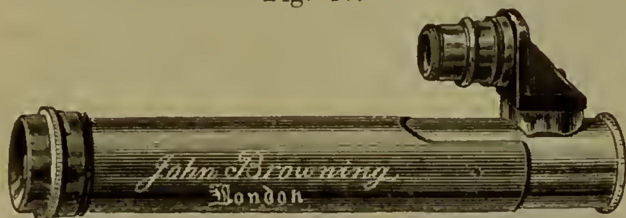
Fig. 16.



gefunden. Das Browning'sche Spectroskop (Fig. 16) besteht aus dem Spalt *S*, welcher durch Drehung des Kopfes *s* enger und weiter gestellt werden kann, der Sammellinse *C*, dem aus vier Crown- und

drei Flintglasprismen zusammengesetzten Körper *P* und dem ausziehbaren Rohre *R*, mit dessen Hülfe das Spectroskop für jedes Auge einzustellen ist. Browning hat diesen Apparat noch in einer anderen Ausführung hergestellt, bei welcher demselben ein abnehmbares Vergleichsprisma und eine photographirte Mikrometerscala beigegeben ist. Letztere befindet sich nebst einer biconvexen Linse in einem kleinen, durch Knieansatz mit dem Hauptrohre verbundenen parallelen Nebenrohr und wird durch ein Reflexionsprisma auf die letzte Fläche des Prismenkörpers geworfen und von dieser in das Auge des Beobachters reflectirt. Beim Gebrauch befestigt man das nur 8,5 cm lange Instrument an einem leicht verstellbaren Stativ.

Fig. 17.



Aehnliche Taschenspectroskope, wie das einfachere Browning'sche, werden jetzt überall hergestellt. Eine von H. W. Vogel [1]) herrührende und von Schmidt und Haensch in Berlin ausgeführte Construction hat zum Ersatze für die Scala einen kleinen, in einem Bügel sitzenden drehbaren Spiegel, der Licht auf ein Spiegelprisma wirft, von dem es in den oberen Theil des Spaltes reflectirt wird. Spiegel und Vergleichsprisma lassen sich leicht bei Seite schieben.

Die meisten dieser Spectroskope geben nur ein von der *A*- bis zur *G*-Linie reichendes Spectrum; der violette Theil fehlt fast ganz. Adam Hilger in London hat indessen geradsichtige Spectroskope angefertigt, welche zwar eine etwas grössere Länge haben, sich aber durch grosse Dispersion auszeichnen. Ihr Spectrum erstreckt sich vom äussersten Roth bis über die *H*-Linie hinaus, zeigt die beiden *D*-Linien und, auf die Sonne gerichtet, zwischen ihnen die Nickellinie. Das Instrument besitzt am Beobachtungsende ein achromatisches Ocular und eine eigenartige Vorrichtung, welche eine feine Lichtlinie, deren Helligkeit und Farbe verändert werden kann, in das Spectrum reflectirt, und welche an Stelle der wenig scharf hervortretenden Fadenkreuze zu genauen Messungen, namentlich im dunklen Theile, des Spectrums dient. Die Messungen geschehen mit Hülfe einer Mikrometerschraube, welche auf dem Spalte sitzt und denselben vom einen Ende des Spectrums zum anderen bewegt.

Von anderen geradsichtigen Spectroskopen [2]) sei wegen der eigenthümlichen Construction das Spectroskop von Christie [3]) erwähnt. Letzterer verwendet Halbprismen, so genannt, weil sie als Hälften

---

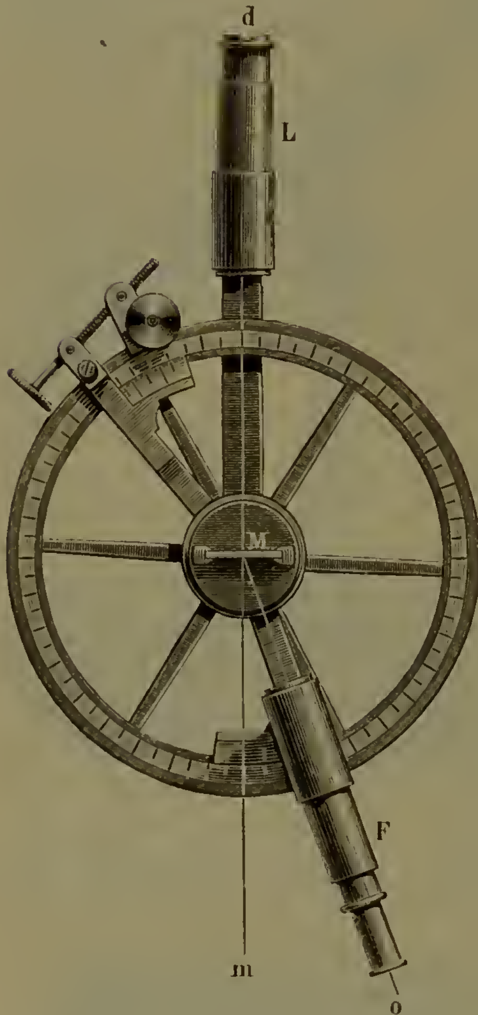
[1]) H. W. Vogel, Ber. 9, 1645; 10, 1428. — [2]) Alex. Herschel, Monit. scientif. 7, 259; Emsmann, Pogg. Ann. 150, 636; Kessler, Ebend. 151, 507; Fuchs, Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1, 352. — [3]) Christie, Proc. Roy. Soc. 26, 8.

eines dreitheiligen compensirten Prismas betrachtet werden können. Der brechende Winkel kann verschieden sein; beträgt er 90^0, so erhält man eine gerade Durchsicht und ein langes, vergrössertes Spectrum, das sich aber nicht durch entsprechend grössere Dispersion auszeichnet und obendrein lichtschwach ist. Die Christie'schen Halbprismenspectroskope haben bislang nur in England Anwendung gefunden.

Gitterspectroskope.

Die Vorzüge der Beugungsspectra sind oben bereits hervorgehoben, wobei auch erwähnt wurde, dass wegen des eintretenden Lichtverlustes die Gitterspectroskope nur für helle Lichtquellen, wie Sonne und elektrisches Licht, geeignet sind.

Fig. 18.



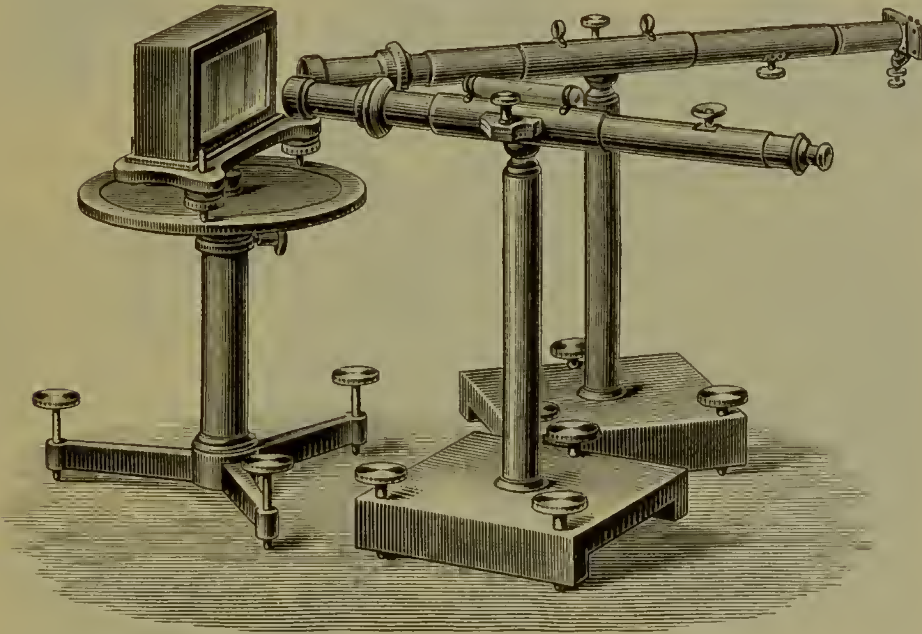
Die gebräuchlichste Form für diese Apparate ist das Spectrometer, von dem eine der zahlreichen Formen auf S. 26 beschrieben und in Fig. 20 abgebildet ist. Man benutzt entweder Glas- oder Metallgitter; letztere sind für alle genaueren Untersuchungen vorzuziehen.

Die Einrichtung eines Spectrometers mit Glasgitter ist im Grundriss aus Fig. 18 zu ersehen. Das Gitter *M* steht senkrecht zur Axe des Collimators *L* und befindet sich auf dem Tischchen des Apparates, zu dessen Drehaxe das mit Fadenkreuz versehene Fernrohr *F* ebenfalls senkrecht eingestellt wird. Das Fernrohr wird auf den Spalt *d* gerichtet, und seine Stellung an der Kreistheilung abgelesen. Bringt man eine bestimmte Lichtart, etwa eine Natriumflamme, vor den Spalt und liest nach einander die Fernrohrstellung für die Spectren erster, zweiter und dritter Ordnung ab, so hat man unter Zugrundelegung der genau bestimmten Wellenlänge des Natriumlichtes den Maassstab für die Berechnung der Wellenlänge einer anderen zur Beobachtung gelangenden Lichtart, indem sich deren Wellenlänge zur Wellenlänge des Natriums verhält, wie die entsprechenden Theilkreisablesungen. Wenn man unter dem Mikroskope die Gitterconstante, d. h. die Zahl der Striche auf 1 mm bestimmt, so

kann man auch direct die Wellenlinien ermitteln. Mit einem solchen Gitterspectrometer hat Angström seine derzeitig berühmten Wellenlängenbestimmungen der Sonnenlinien gemacht.

Ein einfaches Gitterspectroskop mit Reflexgitter zeigt Fig. 19. Fernrohr und Collimator sind getrennt dicht neben einander aufgestellt; das Gitter, welches sich zum Schutze gegen corrodirende Dämpfe in einem vorn mit einer planparallelen Glasplatte verschlossenen Gehäuse befindet, steht auf einem Tische, dessen kreisrunde Platte so gedreht werden kann, dass jeder Theil der Spectren verschiedener Ordnung vor das Fadenkreuz des Fernrohres gebracht werden kann. Um die Spectra höherer Ordnung, welche sich durch Uebereinanderlagerung gegenseitig decken, einzeln beobachten zu können, braucht man nur nach dem Vorgange Fraunhofer's zwischen Gitter und Fernrohr ein Prisma

Fig. 19.



so aufzustellen, dass die Zerstreuungsebene desselben zu derjenigen des Gitters senkrecht steht. Die Spectren erscheinen dann klar über einander.

Rowland's Concavgitter-Spectroskop. Durch die von Rowland 1881 erfundenen Concavgitter hat die Spectralanalyse einen wesentlichen Fortschritt erfahren. Die Messungen, sowohl die durch directe Wellenbestimmungen, wie namentlich die durch die Coincidenzmethode erhaltenen, haben eine früher für kaum erreichbar gehaltene Genauigkeit gewonnen. Das Instrument ist ferner das einzige, das für alle Strahlen, also auch für die ultravioletten und infrarothen, brauchbar ist. Da sich zwischen Spalt und Ocular oder photographischer Camera keine Linse befindet, werden die aus Lichtverlust, sphärischer Aberration und Unvollkommenheit der Linsen erwachsenden Nachtheile vermieden. Endlich sind die Gitter astigmatisch, d. h. eine punkt-

förmige Lichtquelle (Funken) tritt im Brennpunkte nicht als Punkt, sondern als Linie in die Erscheinung, was die Vergleichung von Metall- und Sonnenlinien und die Vergrösserung der Spectra erleichtert.

Die Vorzüge des Instrumentes kommen in besonderem Maasse beim Photographiren der Spectra zur Geltung, nicht nur, weil hierbei eine bedeutend grössere Genauigkeit erzielt wird als bei der Ocularbeobachtung, sondern auch weil die Aufnahmen alle Theile des Spectrums umfassen, während das Auge auf den sichtbaren Theil desselben beschränkt ist. Es wird daher an dieser Stelle von der Beschreibung des Apparates Abstand genommen und auf S. 35 verwiesen.

Wird das Instrument für die Ocularbeobachtung benutzt, so tritt an die Stelle der Camera ein Ocular mit Fadenkreuz und Mikrometer. Die Messvorrichtung mit einer äusserst exacten Schraube von 125 mm Länge gleicht mehr einer Theilmaschine, als einem gewöhnlichen Mikrometer. Das Ocular braucht nur 1 bis 2 Zoll Brennweite zu haben; man erreicht damit die gleiche Leistung, wie mit einem 100- bis 200 mal vergrössernden Fernrohre in Verbindung mit einem Plangitter.

Spectralapparate für besondere Zwecke.

Spectrometer. Sobald es sich um feine spectralanalytische Messungen handelt, benutzt man das Spectrometer, bei welchem der Brechungscoëfficient nach der Methode der kleinsten Ablenkung bestimmt wird. Von den vielen verschiedenen, im Princip indess übereinstimmenden Constructionen sei hier diejenige von V. v. Lang beschrieben, wie sie von Schmidt und Haensch in Berlin sehr zweckentsprechend ausgeführt wird.

Ein mit Schrauben zum Horizontalstellen versehenes Gestell (Fig. 20) trägt einen centralen, aussen und innen genau abgedrehten Zapfen, in dessen Centrum eine Stahlaxe läuft, welche oben eine horizontale Metallscheibe mit Kreistheilung trägt und unten im hohlen Raume des Dreifusses zunächst eine Klemmvorrichtung hat und dann in eine aus sechs quirlartig angebrachten Armen bestehende Vorrichtung zum Drehen der Axe endigt. Aussen auf dem Zapfen schleift ein starker Messingcylinder, an welchem oben der Nonienkreis, seitlich der Halter für das mit liegendem Fadenkreuz ausgestattete und durch ein Gegengewicht ausbalancirte astronomische Fernrohr und unten der Bremsarm befestigt ist. Die Mikrometerschrauben der Klemmvorrichtung für den Kreis und den Nonius sind mit dem Gestell verbunden. Letzteres trägt auch den Halter für den Collimator, welcher am einen Ende mit einem verstellbaren Spalt und einem Vergleichsprisma, am anderen mit einer Sammellinse versehen ist. In der Mitte des Theilkreises ragt ein in die centrale Axe eingelassener Zapfen heraus, der ein kleines, hoch und niedrig verstellbares Tischchen trägt. Auf dieses letztere, welches an seinem Umfange gleichfalls eine Kreistheilung be-

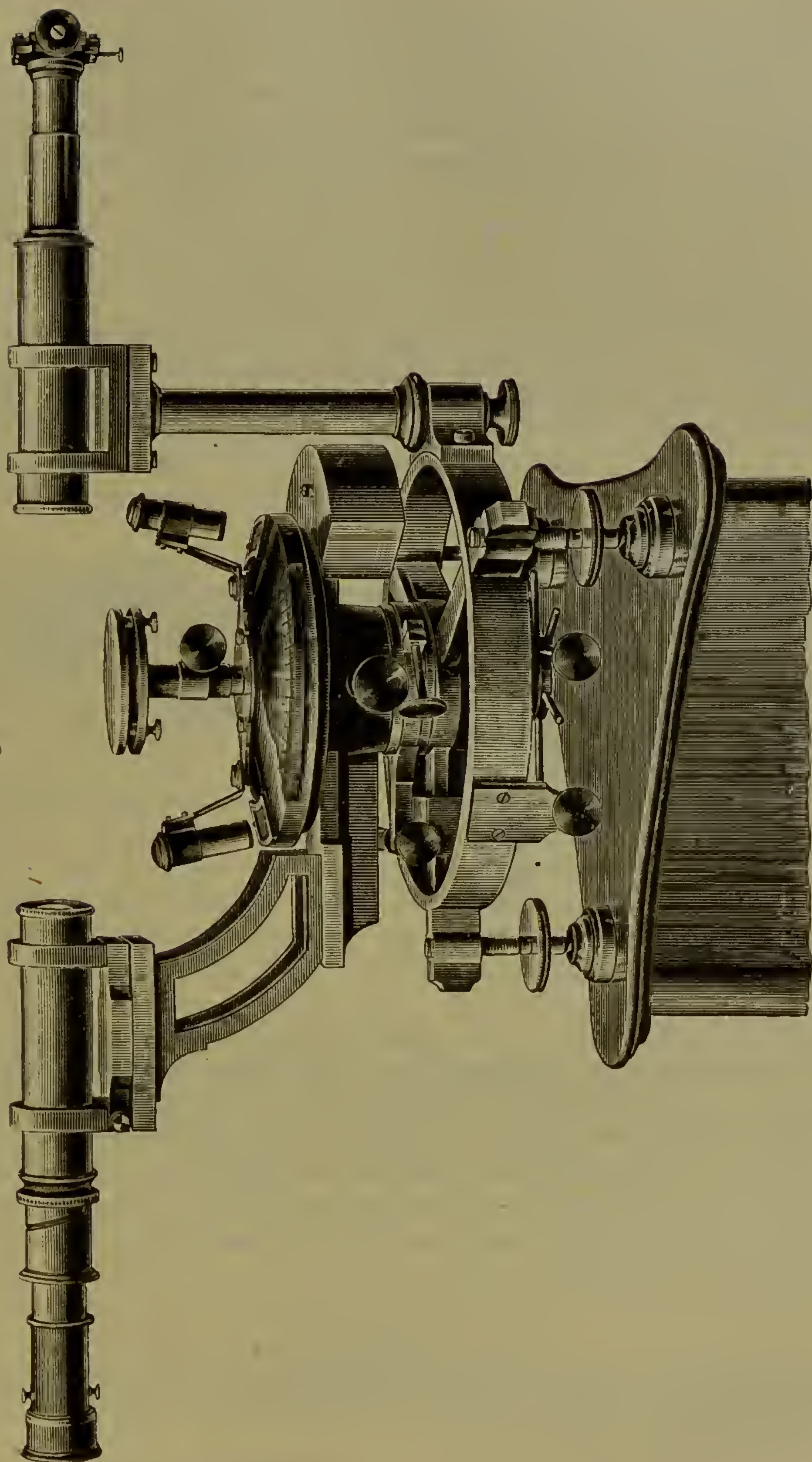


Fig. 20.

sitzt und bei der Drehung an feststehenden Nonien vorbeigleitet, stellt man das zu benutzende Prisma oder Diffractionsgitter.

Der Theilkreis ist zum Schutze gegen corrodirende Dämpfe von einem mit Fenster versehenen Gehäuse umgeben und kann vollständig um seine Axe im festgeklemmten äusseren Nonienkreise gedreht werden, wie umgekehrt letzterer um den festgelegten inneren Kreis. Löst man den Knopf unter der Kreisplatte, so kann man das Fernrohr, ohne die Theilscheibe mit zu bewegen, so weit drehen, dass die Lupen in jede Lage oberhalb der Theilung zur bequemen Ablesung gebracht werden können. Dem Apparate ist ein Gauss'sches Ocular (Fig. 21) beigegeben, welches statt des gewöhnlichen benutzt werden kann und dazu dient, das Fadenkreuz im Fernrohre zu beleuchten. Zu diesem Zwecke hat das Ocular einen seitlichen Ausschnitt *b*, hinter welchem sich eine planparallele, unter 45° gegen die Axe des Fernrohres geneigte Glasplatte befindet, welche Licht nach dem Fadenkreuz zu reflectiren vermag.

Fig. 21.



Von grosser Wichtigkeit ist die richtige Einstellung des Apparates. Das Fadenkreuz muss genau im Brennpunkte des Oculars liegen und die Axe des auf Unendlich eingestellten Fernrohres senkrecht zur Drehungsaxe stehen. Die gleiche Stellung muss der ebenfalls auf Unendlich gerichtete Collimator einnehmen, während die brechende Kante des Prismas parallel zur Drehaxe stehen muss.

Der Brechungsindex (n) ergiebt sich aus dem brechenden Winkel (g) und dem Ablenkungswinkel (D). Um ersteren zu finden, wird das mit Gauss'schem Ocular versehene Fernrohr erst senkrecht gegen die erste, dann senkrecht gegen die zweite Prismenfläche eingestellt und die entsprechenden Ablesungen an dem Theilkreise gemacht. Zieht man den gefundenen Winkel von 180° ab, so hat man den Brechungswinkel g.

Um den Ablesungswinkel D zu bestimmen, stellt man zunächst das Fadenkreuz des Fernrohres ohne dazwischen befindliches Prisma auf den Spalt ein und erhält so die Nulllage. Dann schaltet man das Prisma ein und richtet das Fadenkreuz von Neuem scharf auf den Spalt, wobei das Prisma im Minimum der Ablenkung stehen muss. Der gemessene Abstand der beiden Fernrohrstellungen entspricht dem Ablesungswinkel für die beobachtete Farbe. Dann berechnet man den Brechungscoëfficienten n nach

$$n = \frac{\sin {}^1/_2\,(g + D)}{\sin {}^1/_2\, g}$$

und die Wellenlänge des Brechungscoëfficienten n mit Hülfe der Cauchy'schen[1]) Dispersionsformel

---

[1]) Cauchy, Mémoire sur la dispersion de la lumière, Prag 1836.

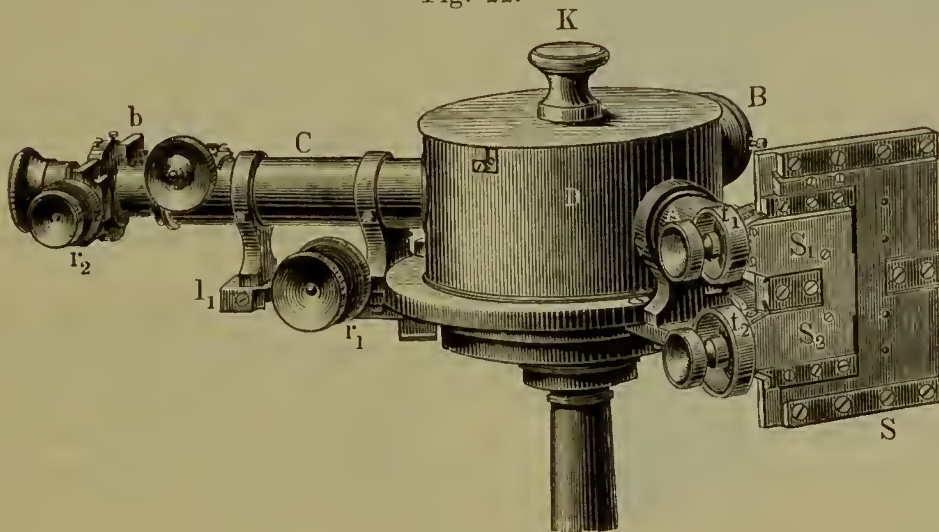
$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \ldots\ldots,$$

von welcher man die letzte Constante, weil sehr klein, für gewöhnlich vernachlässigen darf. Man bestimmt zu dem gedachten Zwecke die Brechungsindices des Prismas n_1 und n_2 für zwei Lichtstrahlen, z. B. zwei Fraunhofer'sche Linien, deren Wellenlänge λ_1 und λ_2 schon genau bekannt ist, und ermittelt dann die Constanten A und B mit Hülfe der Gleichungen

$$n_1 = A + \frac{B}{{\lambda_1}^2} \quad \text{und} \quad n_2 = A + \frac{B}{{\lambda_2}^2}.$$

Krüss' Universalspectralapparat. Ein Apparat, der für alle spectroskopisch-chemischen Untersuchungen geeignet ist und Messungen vorzunehmen gestattet, die sich den spectrometrischen in Bezug

Fig. 22.



auf Genauigkeit nähern, ist von G. Krüss[1]) construirt und von A. Krüss in Hamburg ausgeführt. Das in Fig. 22 abgebildete Instrument hat die Grundform desjenigen von Bunsen und Kirchhoff und besteht aus dem siebenfach vergrössernden Fernrohr C, dem am Prismentische fixirten Scalenrohr B mit einer im Brennpunkte seines Objectives fest angebrachten Scala, deren Theilstrich 100 in die Mitte der D-Linien fällt, und dem Collimator A, dessen Spalt ein für allemal genau im Brennpunkte des Objectives und parallel der brechenden Kante des Prismas einsteht. Es können zwei verschiedene Spalte eingesetzt werden, ein einfacher für qualitative Analyse und ein Doppelspalt zu quantitativen Untersuchungen. Beide öffnen sich symmetrisch zur optischen Axe, wodurch die Erscheinungen im Spectrum bei verschiedenen Spaltweiten die mittlere Lage bewahren. Die Weite des einfachen Spaltes, der mit leicht fortzuschlagendem Vergleichsprisma

[1]) G. Krüss, Ber. 19, 2739.

versehen ist, kann durch eine mit der Mikrometerschraube verbundene getheilte Trommel gemessen werden; für quantitative Untersuchungen dient der symmetrische Doppelspalt S, dessen Hälften S_1 und S_2 durch Mikrometerschrauben mit getheilter Trommel t_1 und t_2 zu bewegen sind.

Der Apparat besitzt zwei Prismen von verschiedener Dispersion, ein schwach zerstreuendes Flintglasprisma von 60° und ein stark dispergirendes Rutherfurdprisma. Die Prismen werden in Einschnitte innerhalb der lichtdicht schliessenden Kapsel D gestellt und durch den Druck einer unterhalb des Knopfes K befindlichen Feder in der Einstellung auf das Minimum der Ablenkung erhalten.

Die eigentlichen Messvorrichtungen befinden sich am Beobachtungsrohre. Eine Mikrometerschraube mit einer 100theiligen Trommel r_1 bewegt das Fernrohr mit seinem Halter um die verticale Axe des Instrumentes. Die ganzen Umdrehungen dieser Schraube sind an einer dicht unter dem Ocular befindlichen Theilung abzulesen. Eine zweite Mikrometerschraube mit 100theiliger Trommel r_2 bewegt noch das Fadenkreuz besonders. Hierdurch sind feine Messungen im Spectrum möglich, und da ausserdem das Verhältniss der Ganghöhen bei den Mikrometerschrauben zu einander, sowie zu den Intervallen der Scala bekannt ist, so können die Resultate der einen Messung durch diejenigen zweier anderer Messvorrichtungen controllirt und constante Rechnungsfehler ausgeschlossen werden.

Spectrophotometer. Eine besondere Eigenthümlichkeit des vorstehenden Apparates ist der Doppelspalt, welchen Vierordt[1]) für die von ihm begründete Photometrie der Absorptionsspectra und quantitative Spectralanalyse einführte. Man kann die Menge eines Körpers in einer von ihm herrührenden farbigen Lösung dadurch ermitteln, dass man sie in einem Trog oder im Schulz'schen Glaskörper vor die eine Spaltöffnung bringt und die andere, welche heller erscheint, so lange in messbarer Weise verengt, bis beide Hälften die gleiche Lichtstärke zeigen. Der gemessene Umfang dieser Lichtschwächung entspricht der Absorption durch die angewandten Substanzen. — In den Spectrophotometern von Glan[2]) und Hüfner[3]) wird die Lichtschwächung nicht durch Verengen des Spaltes, sondern mit Hülfe von polarisirenden Mitteln bestimmt.

Sorby's Mikrospectroskop. Es ist oft wünschenswerth, die spectroskopische Untersuchung auf mikroskopische Objecte auszudehnen, was namentlich bei der Identificirung der Blutfarbstoffe in gerichtlichen Fällen, bei der Prüfung von Gesteinsdünnschliffen, undurchsichtigen Gegenständen, Blättern, Pflanzensäften u. s. w. der Fall ist. Zu dem Zweck hat Sorby[4]) im Verein mit Browning Spectroskop

---

[1]) Vierordt, Pogg. Ann. **140**, 172, und die Anwendung des Spectralapparates zur Photometrie der Absorptionsspectra und zur quantitativen Analyse, Tübingen 1873. — [2]) Glan, Wiedem. Ann. **1**, 351. — [3]) Hüfner, J. pr. Chem. [2] **16**, 290; Zeitschr. f. phys. Chem. **3**, 562. — [4]) Sorby, Chem. News **15**, 220; Proc. Roy. Soc. **15**, 433.

und Mikroskop in geschickter Weise combinirt. Der Apparat (Fig. 23) wird an Stelle eines gewöhnlichen Oculars in den Tubus eines Mikroskopes eingesetzt. Der von der Linse kommende Strahl passirt nach einander Spalt, Sammellinse und einen Amici'schen Prismensatz. Die letzte Prismenfläche reflectirt zugleich in das Auge des Beobachters eine helle Linie, welche mit der in einem rechtwinkeligen Ansatze befindlichen Messvorrichtung zusammenhängt. Diese helle Linie, welche ein Beleuchtungsspiegel mit Hülfe einer photographisch hergestellten durchsichtigen Linie auf schwarzem Grunde hervorruft, kann mit Hülfe einer genau getheilten Mikrometerschraube nach Belieben auf eine beobachtete Spectral- oder Absorptionslinie eingestellt werden. Ausser-

Fig. 23.

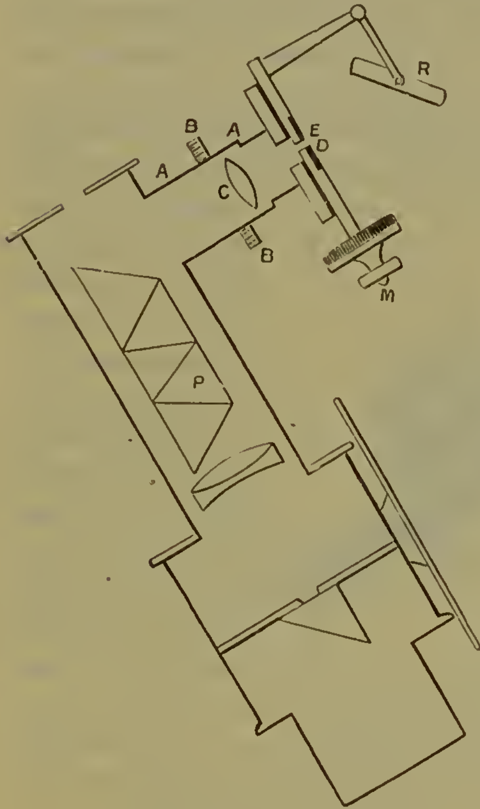
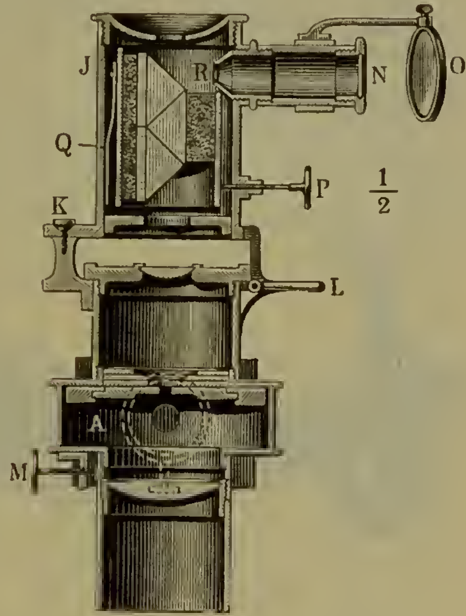


Fig. 24.



dem besitzt der Apparat ein Vergleichsprisma, auf welches das Licht ebenfalls durch einen Spiegel, welcher die auf einem seitlichen Tischchen festgeklemmten Objecte beleuchtet, geworfen wird. Alle Spiegel erhalten ihr Licht von derselben Lampe.

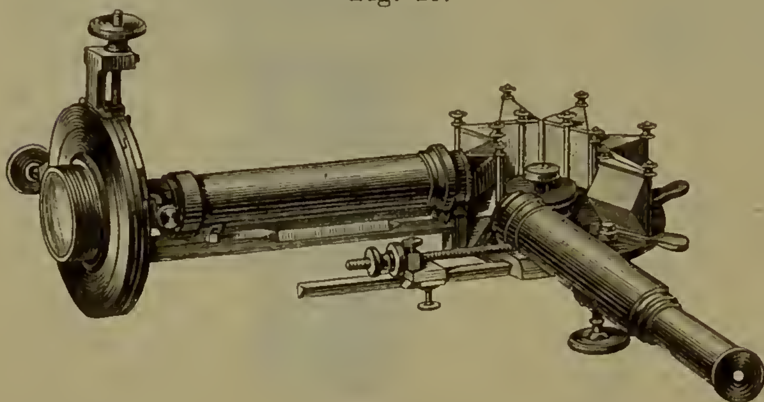
Eine praktische Abänderung dieses Mikrospectroskopes rührt von Abbe her und wird von Carl Zeiss in Jena zur Ausführung gebracht. Das Instrument (Fig. 24) wird durch die Schraube *M* im Tubus des Mikroskopes in solcher Stellung festgeklemmt, dass die Spiegel *A* und *O* gleichzeitig von der Sonne beschienen werden. Der obere Theil, welcher den Prismenkörper enthält, ist um den Zapfen *K* drehbar und kann zur Seite geschoben werden, um die Einstellung des Objectes genau vorzunehmen. Wird er wieder an seine Stelle gebracht, so zeigt das Einschnappen des Hebels *L* die richtige Lage an. Der

durch punktirte Linien angedeutete Spiegel A dient dazu, die auf einem seitlichen Tische befestigten Gegenstände zu beleuchten; das Licht gelangt durch eine Oeffnung auf ein in der Abbildung nicht sichtbares, am Spalt befestigtes Vergleichsprisma. Eine Eigenart dieses Instrumentes ist, dass eine Scala N, deren Bezifferung die Wellenlänge desjenigen Spectralbezirkes, auf welchen die bezüglichen Striche fallen, in Bruchtheilen des Mikromillimeters angiebt, durch den Spiegel O auf die letzte Prismenfläche geworfen wird. Der zwischen Korkstücken ruhende Prismensatz kann durch die Feder Q und die Justirschraube P etwas aus der verticalen Lage verschoben werden, damit die Scala genau auf Fraunhofer'sche Linien eingestellt werden kann.

Sonnen- und Sternspectroskope. Bei der ausgedehnten Anwendung, welche die Spectralanalyse in der Astronomie gefunden hat, ist die Zahl der für solche Beobachtungen geeigneten Apparate eine ausserordentlich grosse.

Für die Untersuchung der Sonne, welche noch immer einen Hauptgegenstand der Spectroskopie ausmacht, benutzt man vorwiegend feststehende Apparate, Gitterspectroskope, Spectrometer und stark dispergirende Spectroskope mit abgelenktem Strahl, denen das Licht durch einen Heliostaten zugeführt wird. Will man aber die Protuberanzen beobachten, was früher nur bei totalen Sonnenfinsternissen möglich war, jetzt aber nach der gleichzeitig von Lockyer und Janssen entdeckten Methode zu jeder Zeit geschehen kann, so muss man ein stark dispergirendes Spectroskop mit einem Fernrohre verbinden und den weit geöffneten Spalt tangential zum Sonnenrande stellen.

Fig. 25.



Hierzu lässt sich jedes Spectroskop von starker Dispersion verwenden, nur muss dafür gesorgt werden, dass dasselbe zum Aufsuchen der Protuberanzen um die Collimatoraxe drehbar ist. Da es keineswegs einfach ist, ein schweres Spectroskop an einem Fernrohre sicher zu befestigen, so hat H. C. Vogel dafür ein eigenartiges Gestell, den Adapteur, construirt. Vor Allem aber ist es wünschenswerth, dass das Spectroskop leicht gebaut sei. Als Beispiel eines solchen Instrumentes sei hier das in Fig. 25 abgebildete Browning'sche Sonnenspectroskop genannt. Dasselbe wird mit Hülfe eines Schraubenganges auf das Ocular eines Refractors von drei oder mehr Zoll Durchmesser geschroben. Am Schraubenring befindet sich ein in ganze Grade ge-

theilter Positionskreis, dessen Zeiger (Alhidade) zwei rechtwinkelig verstellbare Schieber trägt. Am vorderen sind die Schienen befestigt, welche den Collimator und den Prismentisch tragen. Collimator und das Fernrohr sind fixirt, die fünf Prismen automatisch beweglich. Durch ein Reflexionsprisma, welches die Strahlen zurückführt, wird die Wirkung von zehn Prismen erreicht. Links vom Fernrohr befindet sich an einem dreieckigen Messingstabe die Messvorrichtung, deren Mikrometerschraube die Prismen selbstthätig auf das Minimum der Ablenkung für den zu messenden Strahl einstellt. Beim höchsten Stande der Sonne kann man mit diesem Instrumente sechs Linien zwischen den beiden *D*-Linien wahrnehmen.

Dieser Apparat kann, da sich die Dispersionskraft zwischen zwei und zehn Prismen variiren lässt, auch zur Beobachtung von Sternen und Nebelflecken benutzt werden, welche, weil lichtschwach, eine geringere Dispersion erfordern.

Handelt es sich nur um die Durchmusterung des Himmels oder um die Beobachtung von Fixsternen, welche nur als Punkt erscheinen, so kann man unter Fortlassung der Spaltvorrichtung ein geradsichtiges Spectroskop, das auf das Ocular eines Fernrohres geschroben wird, benutzen. Solche Instrumente sind von Zöllner, Secchi, H. C. Vogel, Mc Clean, v. Konkoly und Anderen construirt, lassen sich aber zu genauen Messungen nicht benutzen.

Um Meteorspectren zu beobachten, empfiehlt v. Konkoly, ein geradsichtiges Spectroskop mit einer concaven Cylinderlinse an ein kleines Fernrohr zu schrauben. Das Gesichtsfeld umfasst dann etwa 27°, und man hat den weiteren Vortheil, dass die scheinbar schnelle Bewegung der Meteore verringert wird.

Sternspectrometer. Um an Sternen ganz genaue spectroskopische Messungen vorzunehmen, hat H. C. Vogel mit Erfolg ein Spectrometer construirt, das an das Fernrohr geschroben wird. In neuester Zeit hat auch Adam Hilger in London einen derartigen Apparat gebaut, der für Sonnen- und Sternbeobachtungen bestimmt ist und auch auf einem Gestell im Laboratorium verwendet werden kann.

Spectrographen. Die Verbindung der Photographie mit der Spectroskopie hat die werthvollsten Ergebnisse geliefert; nicht allein werden dabei die Ungenauigkeiten vermieden, die durch uncorrecte Beobachtungen und Aufzeichnungen entstehen, sondern es werden auch die Erscheinungen im Ultraviolett und Infraroth fixirt, welche das menschliche Auge nicht wahrzunehmen vermag. Auch kann man durch Verlängerung der Expositionszeit Aufnahmen von entfernten Himmelskörpern machen, die so lichtschwach sind, dass sie sich der Ocularbeobachtung entziehen.

Ein mit der photographischen Camera verbundenes Spectroskop nennt man Spectograph. H. W. Vogel [1]) hat einen grösseren und

[1]) H. W. Vogel, Pogg. Ann. **154**, 306; **156**, 319.

kleineren derartigen Apparat angegeben; letzterer hat einen keilförmigen Spalt, eine Collimatorlinse, ein fünffaches Amici'sches Prisma und eine aplanatische Linse, welche das Bild auf die matte Scheibe der hinteren Camerawand oder auf die an deren Stelle geschobene Platte wirft. Der grössere Apparat ist für abgelenkten Strahl eingerichtet und mit zwei Prismen von 60° versehen; er kann, da er um die horizontale und verticale Axe drehbar ist, sowohl auf die Sonne wie auf irdische Lichtquellen gerichtet werden.

Für die photographische Aufnahme von Absorptionsspectren hat Ostwald[1]) folgendes Verfahren angewandt. An das Objectivbrett einer soliden photographischen Camera wurde ein horizontales Brett geschraubt, welches das Prisma und das aus einem Spectrometer entnommene Spaltrohr nebst Sammellinse trug. Das Spectrum wurde mittelst der Hinterlinse eines Aplanates von Luter, deren Brennweite 40 cm betrug, auf die matte Scheibe der Camera geworfen, wo es mittelst der Sonnenlinien scharf eingestellt werden konnte. Das Prisma war ein mit Monobromnaphtalin[2]) gefülltes Hohlprisma von 60° brechendem Winkel und gab ein Spectrum von bedeutender Ausdehnung im Ultraviolett. Als Lichtquelle empfiehlt Ostwald das Auer'sche Gasglühlicht.

Für die photographische Aufnahme der Sternspectra wird der Spectrograph direct mit dem Fernrohr verbunden. Als Beispiel eines solchen Apparates sei hier der grosse Spectrograph des astrophysikalischen Instituts zu Potsdam[3]) erwähnt, mit dessen Hülfe daselbst die durch ihre Genauigkeit ausgezeichneten Aufnahmen von Sternspectren erhalten wurden. Der ganze Ocularkopf des elfzölligen Refractors wurde abgenommen und durch ein starkes Gestell ersetzt, an dessen einem Ende der Spectrograph durch Schrauben verstellbar angebracht ist. Das Collimatorrohr befindet sich der Stabilität wegen in einem conischen stählernen Gestell, in welchem es durch einen Trieb bewegt werden kann; seine Stellung ist durch eine Scala zu messen.

Auf das Collimatorrohr folgt der sehr fest construirte runde Behälter für die beiden stark dispergirenden Rutherfurd'schen Prismen. An denselben schliesst sich die conische Camera an, deren Ende zur Erzielung eines völlig starren, vor Erschütterungen geschützten Systems durch Träger wieder mit dem oberen Ende des Collimatorkörpers verbunden ist. Collimator- und Objectivlinse sind für die chemischen Strahlen achromatisirt. — In den Strahlenkegel des Refractorobjectivs ist etwa 40 cm weit vom Spalte eine mit Wasserstoff gefüllte Geissler'sche Röhre eingeschaltet. Das Sternspectrum scheint daher durchzogen von der $H\gamma$-Linie, wodurch nicht nur ein Anhalt zur Messung der Linienverschiebung in Folge der Bewegung des Sternes

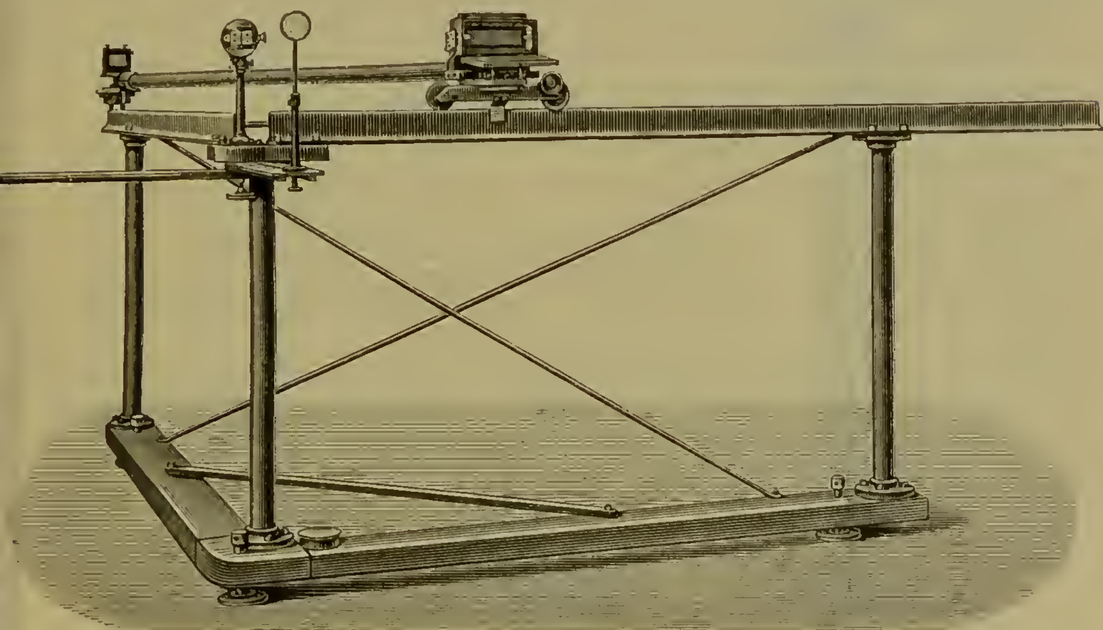
---

[1]) Ostwald, Zeitschr. f. phys. Chem. 9, 579. — [2]) Walter, Wied. Ann. 42, 511. — [3]) Scheiner, Spectralanal. d. Gestirne, Leipzig 1890, S. 109.

im Visionsradius, sondern auch eine Beleuchtung des Spaltes erreicht wird. Mit Hülfe der Feinbewegung des Refractors lässt sich dann leicht der als feiner Lichtpunkt auftretende Stern genau auf der Mitte des Spaltes halten. Für die Aufnahmen benutzt man in der Regel Platten von Bromsilbergelatine.

Rowland's Concavgitterspectrograph[1]). Dieser Apparat, dessen Vorzüge auf S. 25 erörtert sind, erfordert eine eigenartige Aufstellung, weil, wie Rowland in seiner Theorie der Concavgitter nachgewiesen, bei deren Anwendung nur dann ein normales Spectrum entsteht, wenn Spalt, Gitter und Camera bezw. Ocular auf der Peripherie eines Kreises stehen, dessen Durchmesser der Krümmungsradius des Gitters ist. Dies wird auf mechanischem Wege dadurch erreicht, dass

Fig. 26.

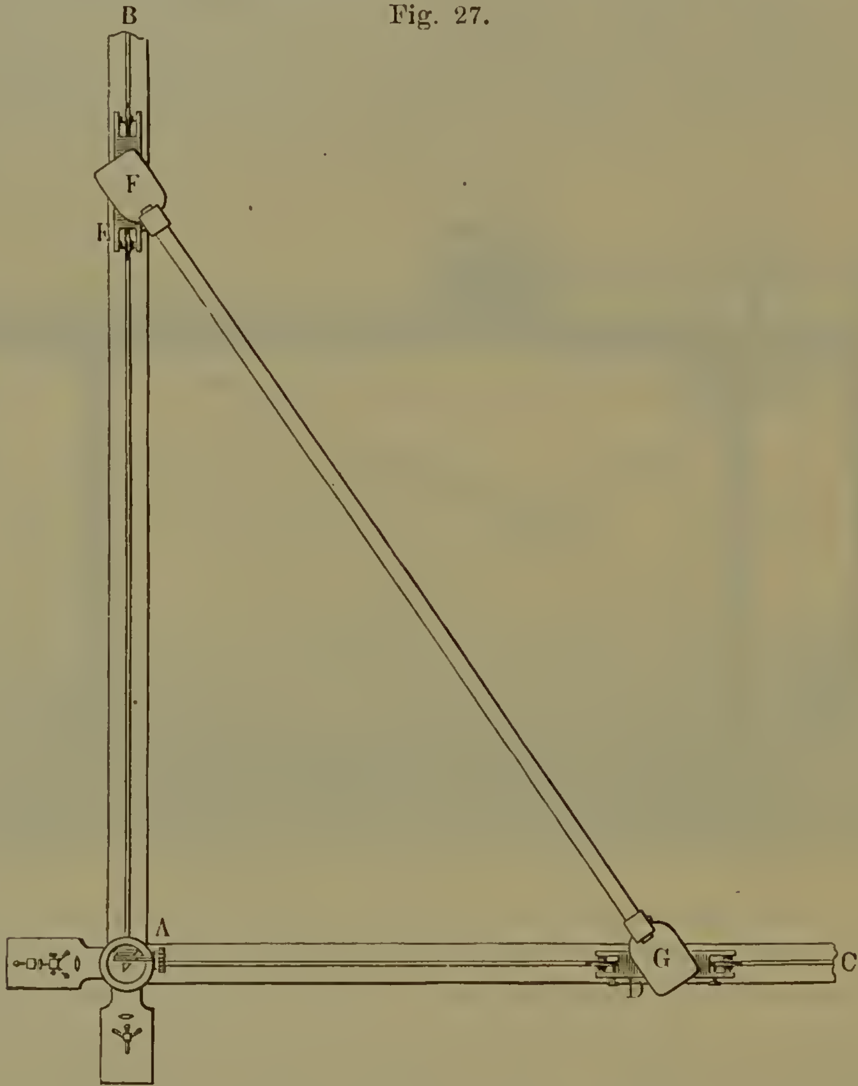


man den Spalt auf der Kreuzung zweier rechtwinkelig zu einander liegenden Balken anbringt, auf denen sich Gitter und Camera in constant gehaltener Entfernung befinden. Fig. 26 zeigt die äussere Ansicht eines solchen Concavgitterspectroskopes. Der von Rowland zu seinen vorzüglichen Messungen der Sonnenlinien benutzte Apparat ist im Grundriss in Fig. 27 (a. f. S.) abgebildet und besteht aus zwei schweren Holzbalken *AB* und *AC* von 15 × 33 cm Querschnitt und 7 m Länge, von denen der eine fest montirt ist, der andere eine geringe, durch Schrauben controlirbare Drehbarkeit um den Punkt *A* besitzt. Diese Balken sind mit Schienen versehen, auf denen kleine, vorn und hinten mit einem Rade versehene Wagen *D* und *E* laufen, die genau über

[1]) Rowland, Phil. Mag. [5] 16, 197; Astronomy and Astrophysics 12, 129 (1893); Johns Hopkins University Circulars 8, Nr. 73, S. 73 (1889); Ames, ebend. 8, Nr. 73, S. 69 (1889); Phil. Mag. [5] 27, 1889.

den Schienen eine Bohrung zur Aufnahme der Zapfen des Querbalkens FG haben. Der Wagen D dient zur Aufstellung des Gitters, der Wagen E zur Aufstellung der Camera. Die Räder des Wagens D und die Zapfen können durch Schrauben festgestellt werden. Der Querbalken FG besteht aus einem vierzölligen schmiedeeisernen Rohre und hat eine Länge, welche dem Krümmungsradius des Gitters entspricht (bei sechszölligen Gittern mit 110 000 Furchen ungefähr 6,55 m) und für die Justirung einen kleinen Spielraum von 15 cm gewährt.

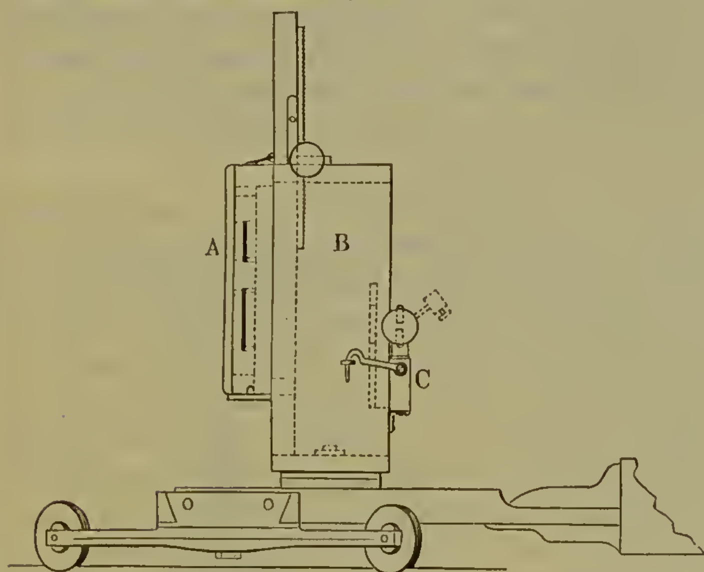
Fig. 27.



Die Camera, Fig. 28, besteht aus dem feststehenden Rahmen B und der abnehmbaren Cassette A für die photographische Platte, welche durch Druck gegen eine Kautschukform in geeigneter Weise gebogen wird. An die Hinterwand der Kammer wird das Holzstück C angehängt, welches eine um ihre horizontale Axe bewegliche Messingplatte mit langem, engem Ausschnitt trägt. Diese wird zur Herstellung eines Vergleichsphotogrammes gebraucht. Die Platten sind 48 cm lang, 5 cm breit und 1,8 mm dick. Die Breite der Spectra schwankt in den verschiedenen Ordnungen zwischen 6 mm und 10 cm.

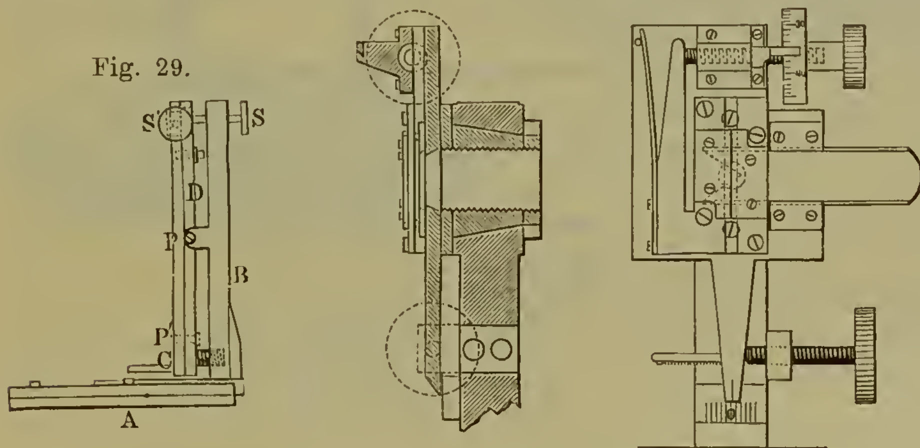
Der Gitterhalter, Fig. 29, besteht aus der schweren Grundplatte A mit dem darin verschiebbaren, aufrecht stehenden Rahmen B, an welchen durch die Schraube P ein Messingstück D befestigt ist, das durch die Schraube S um die Axe P bewegt werden kann. Mittelst der Verschraubung P_1 ist damit ein durch die Stellschraube S_1 um P_1 beweglicher Rahmen verbunden, welcher auf zwei Vorsprüngen das frei von allem Druck, nur durch etwas Wachs gehaltene Gitter trägt. Da die Stellschrauben durch Federn Gegendruck haben, ist das Gitter nach allen Richtungen leicht beweglich.

Fig. 28.



Die Gitter werden in drei verschiedenen Liniaturen, mit 10 000, 14 438 und 20 000 Furchen auf den englischen Zoll (2,54 cm) und in verschiedenen Durchmessern angefertigt. Für die meisten Zwecke ist ein Gitter mit 10 000 Strichen ausreichend, für

Fig. 29. Fig. 30.



Aufnahmen im ultravioletten Theile des Spectrums indessen ein solches mit 20 000 Strichen auf den Zoll und einer Gesammtzahl von 110 000 Furchen vorzuziehen.

Der Spalt, Fig. 30, muss sich heben, senken und um seine horizontale Axe drehen lassen. Letzteres ist besonders wichtig, weil nur bei völligem Parallelismus von Spalt und Furchen ein scharfes Bild entsteht. Die Spaltbreite wird durch eine Mikrometerschraube geregelt

und beträgt in der Regel nur 0,025 mm. Das durch einen Heliostaten zugeführte Sonnenlicht oder das Funken- bezw. Bogenlicht fällt zunächst auf eine in Brennweite vom Spalt angebrachte Sammellinse von Quarz und dann auf den Spalt, oder, wenn die Lichtzuführung von der Seite aus geschieht, auf ein Reflexionsprisma. Wegen des Astigmatismus der Gitter kann man nicht, wie bei dem Prismenspectroskop, ein Spectrum und ein darüberliegendes Vergleichsspectrum gleichzeitig photographiren, sondern man muss sie nach einander aufnehmen, wofür die gleiche Platte benutzt wird. Mit Hülfe der an der Hinterwand der Camera angebrachten Vorrichtung wird zunächst das Vergleichsspectrum in die Mitte der Platte und dann das zu untersuchende darüber und darunter photographirt.

Zwischen dem Spalt und der Linse befindet sich noch ein drehbares Gestell zur Aufnahme von absorbirenden Lösungen, welche von den über einander fallenden Spectren die störenden abhalten.

Die Rowland'schen Concavgitterspectroskope werden in vorzüglicher Ausführung von John A. Brashear in Allegheny gebaut.

Mit Hülfe der Rowland'schen Coincidenzmethode kann man bei Kenntniss einer absoluten Wellenlänge alle anderen mit ausserordentlicher Genauigkeit relativ zu dieser bestimmen[1]). Legt man D_1 zu Grunde und photographirt diese Linie in der ersten, zweiten, dritten u. s. w. Ordnung, so weit das Gitter es gestattet, so erhält man gleichzeitig auf der Platte die anderen Ordnungen, nämlich bei D_1 in der ersten Ordnung: 2948 der zweiten, 1965 der dritten; bei D_1 in der zweiten Ordnung: 3931 der dritten, 2948 der vierten, 2358 der fünften u. s. w., wie folgende Tabelle der Coincidenzen mit D_1, eingestellt in den neun ersten Ordnungen, ergiebt:

1	5896					
2	2948	5896				
3	1965	3931	5896			
4		2948	4422	5896		
5		2358	3538	4717	5896	
6		1965	2948	3931	4913	5896
7			2527	3369	4211	5054
8			2211	2948	3685	4422
9				2620	3275	3931

Man misst nun den Abstand einzelner Linien dieser verschiedenen Ordnungen von der D_1-Linie und berechnet aus der ungefähr bekannten Gitterconstante und dem Krümmungsradius des Gitters angenähert die Wellenlängen der Linien, und zwar, wenn sie z. B. nicht weiter als 50 Angström'sche Einheiten von D_1 entfernt sind, bis auf 0,5 A.-E.

[1]) Vergl. Kayser, Abhandl. Berl. Akad. 1890.

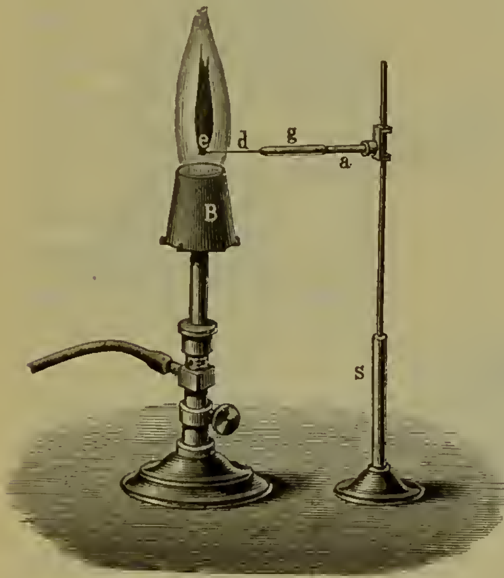
Diesen Maassstab kann man sofort beliebig genau gestalten. Photographirt man beispielsweise die bis auf 0,5 genauen Wellen 4422 und 4717 auf einer Platte und misst man ihren Abstand, so hat man den Maassstab bis auf $^1/_3$ Proc. genau, weil ihr Abstand von 300 A.-E. bis auf eine Einheit genau ist. Mit diesem genauen Maassstabe wiederholt man die Rechnung, erhält den Maassstab wieder genauer, und sofort.

Auf diese Weise hat Rowland sein System von Wellenlängen erhalten, welches zwischen λ 2400 und λ 7000 mindestens bis auf 0,01 A.-E. genau ist, und neben seinem Atlas des Sonnenspectrums zur Zeit die Grundlage für alle spectroskopischen Messungen bildet.

Spectroskopische Hülfsmittel.

Flammenspectra. Wenn es sich nur darum handelt, die Spectra der Alkali- und Erdalkalimetalle zu beobachten, so genügt die Flamme des Bunsen'schen Brenners, um die zu untersuchende Substanz in glühenden Dampf zu verwandeln. Wiedemann und Ebert empfehlen für schwerer dissociirbare Verbindungen der genannten Metalle die etwas heissere Flamme des Terquem'schen Brenners. Noch wirksamer sind die schon von Kirchhoff und Bunsen benutzten Gebläse-, Wasserstoff- und Knallgasflammen, mit deren Hülfe die Spectren mancher Substanzen, die sonst kein Flammenspectrum geben, erzeugt werden können. Wo kein Gas vorhanden, bedient man sich einer geeigneten Spirituslampe, z. B. der Barthel'schen.

Fig. 31.



In manchen Fällen ist es erwünscht, eine relativ kühle Flamme zu benutzen; diese erhält man nach Salet, wenn man die Flamme gegen eine Marmor- oder Metallplatte brennen lässt, die dadurch kühl gehalten wird, dass Wasser an der Rückseite beständig herabrieselt.

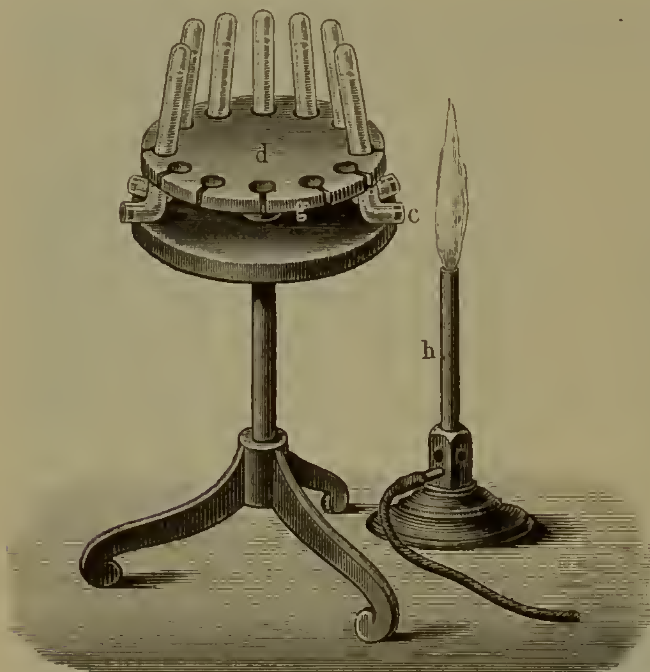
Um die Substanz in den Saum der Flamme zu bringen, benutzt man einen zur Oese umgebogenen Platindraht, dessen gerades Ende in eine Glasröhre eingeschmolzen ist; letztere wird auf den Arm des kleinen Bunsen'schen Stativs (Fig. 31) gesteckt.

Will man ein Flammenspectrum nicht nur vorübergehend erzeugen, so bedient man sich der Mitscherlich'schen Vorrichtung (Fig. 32, a. f. S.), bestehend in einer oben geschlossenen Glasröhre, deren unteres Ende etwas gebogen und mit einem Büschel von ganz feinen Platin-

drähten oder von Asbest verstopft wird, nachdem man zuvor die Substanz in Lösung hineingethan hat. Ein kleiner Zusatz von Salzsäure oder Ammoniumacetat verhindert, dass die aus dem Büschel langsam durchsickernde Flüssigkeit eine Kruste ansetzt.

Ein anderes, von Gouy [1]) herrührendes Verfahren besteht darin, dass man die Salzlösung oder auch feines Salzpulver selbst in einem Gefässe zerstäubt, welches das Leuchtgas oder die Luft auf dem Wege zum Brenner durchströmt. All' diese Mittel versagen aber den Dienst, wenn man auf eine Reihe von Stunden eine gleichmässig helle Flamme erhalten will. Solchen Anforderungen entspricht der Apparat von Eder und Valenta [2]), Fig. 33, welcher aus einem schweren metallenen Postament *P* besteht, das den um eine verticale Achse drehbaren, mit Platinring versehenen Bunsen- oder besser Terquembrenner *b* und die verstellbare, gegen die Horizontale unter einem Winkel von 45⁰ geneigte Doppelscheibe *s* trägt. Diese Scheibe besteht aus zwei Nickelplatten, zwischen denen ein feines Platindrahtnetz *n* so eingeklemmt ist, dass es über den Umfang der Scheibe 2 bis 3 cm hervorragt und in die im Gefässe *g* befindliche Salzlösung eintaucht. Die Scheibe *s* wird mittelst der Achse *a* und des damit verbundenen Conus *c* durch ein Uhrwerk in Umdrehung versetzt. Mitscherlich [3]), Wolf und Diacon [4]), sowie Salet [5]) haben auch leichtflüchtige Stoffe in einem horizontalen, zur Kugel aufgeblasenen Glasrohre im Wasserstoffstrome erhitzt, welcher beim Austritt aus einem angeschmolzenen Platinröhrchen angezündet wird und das Spectrum der benutzten Substanz zeigt. Will man die Halogenverbindungen von Metallen längere Zeit beobachten, so muss man dem Leuchtgase Chlor-, Brom- und Joddämpfe beimischen.

Fig. 32.

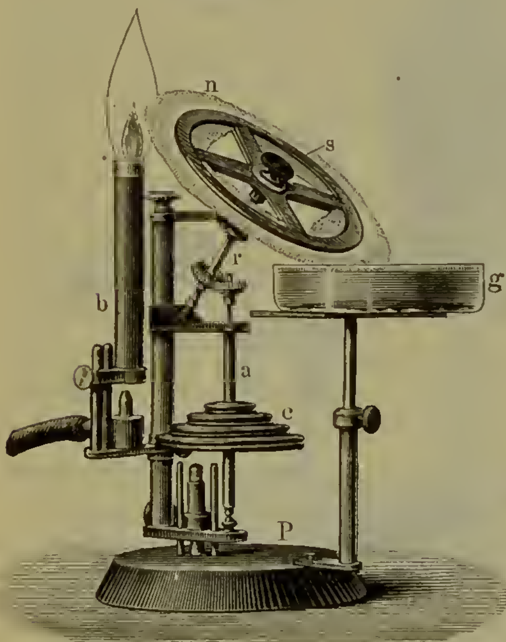


[1]) Gouy, Ann. ch. phys. [5] 18, 25. Wegen Anfertigung des Zerstäubers siehe Ebert, Anleitung zum Glasblasen, 2. Aufl., S. 59, Leipzig 1895. — [2]) Eder u. Valenta, Denkschr. d. mathem.-naturw. Classe der Wien. Akad. 60, 468 (1893). — [3]) Mitscherlich, Pogg. Ann. 121 (1863). — [4]) Wolf u. Diacon, Mém. de l'Acad. Montpellier 1863. — [5]) Salet, Ann. ch. phys. [4] 28, 1873; Spectroscopie, Paris 1888.

Die bisher besprochenen Flammen, von denen die des Bunsenbrenners eine Temperatur von etwa 2300^0 besitzt, reichen nur in den seltensten Fällen zur Erzeugung der Spectra aus; viel geeigneter sind dazu der elektrische Kohlebogen und der elektrische Funken.

Der elektrische Bogen, welcher eine Temperatur von 3000^0 bis 5000^0 hervorbringt, erweist sich für die Metalle am aller geeignetsten, da seine bedeutende Lichtentwickelung die Anwendung von Beugungsgittern gestattet. Auch für Projectionen ist er geeignet. Kayser und Runge, die sich des galvanischen Kohlebogens zu ihren genauen Messungen der Spectra irdischer Stoffe bedienten, wandten meist einen Strom an, der bei 50 Volt Spannung 20 bis 30 Ampère gab; daneben hin und wieder, namentlich für die kürzesten Wellenlängen, einen stärkeren von etwa 40 Ampère.

Fig. 33.



Da die positive Kohle sich hohl brennt und eine grössere Hitze entwickelt als die negative, so macht man sie zum unteren Pol und legt die zu untersuchende Substanz, Metall oder Salz, in die Höhlung. Um ein Herabfliessen der geschmolzenen Masse zu verhüten, empfiehlt es sich, den Querschnitt der unteren Kohle nicht unter 2 qcm gross zu nehmen.

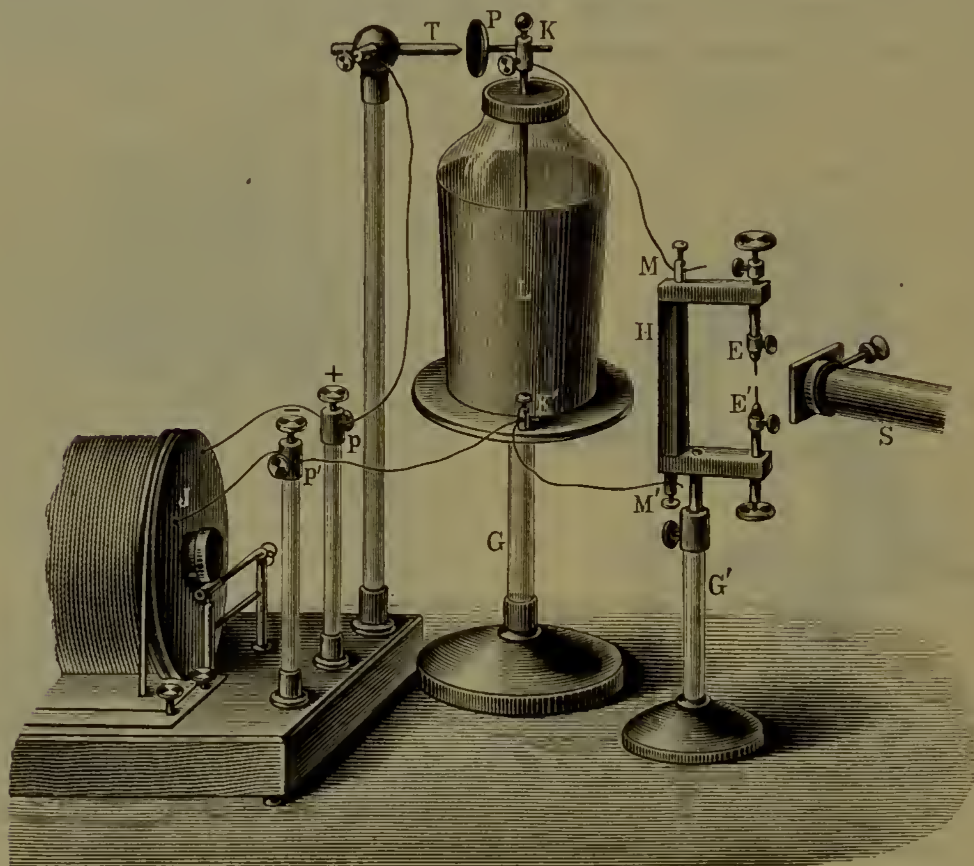
Ist es erwünscht, dass zur Verhütung einer Oxydbildung die Substanz nicht in Luft, sondern in einer bestimmten Gasart verdampft wird, so führt man diese durch die durchbohrte obere Kohle zu, oder man wendet besser noch den von Liveing und Dewar [1]) empfohlenen Block aus Retortenkohle, Kalkstein, Marmor oder Magnesia an. Der Block wird mit zwei horizontalen Bohrungen versehen, welche sich in seiner Mitte rechtwinkelig kreuzen. In zwei gegenüberliegende Bohrlöcher werden durch Glasröhren isolirte Kohlenstäbe geschoben, welche beim Zusammentreffen das Bogenlicht erzeugen. Die dritte Oeffnung dient zum Austritt des Lichtes, die vierte zum Einleiten von Gasen (Kohlensäure, Wasserstoff). Der Block besitzt noch ein fünftes Loch, welches senkrecht von oben auf den Kreuzungspunkt der übrigen stösst und zum Einwerfen der Substanzen gebraucht wird. Das Bogenlicht streicht

---

[1]) Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 1879; Proc. Cambridge Phil. Soc. 4, 1882; Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1890, 1891.

über die eingebrachten Stoffe fort und verdampft sie, wobei es sich nach Kayser und Runge empfiehlt, durch einen angenäherten Magnetpol den Bogen zu zwingen, am Boden der Bohrung entlang zu brennen und so die Substanzen direct zu treffen. Der Apparat erweist sich auch noch zweckmässig, um die Umkehrung der Linien durch Absorption zu beobachten, weil die Bohrung, durch welche das Licht austritt, mit kühleren Dämpfen erfüllt ist. Bei Benutzung des Blockes ist indessen die Intensität der Linien geringer, als wenn die Substanz einfach auf der positiven Kohle verflüchtigt wird.

Fig. 34.



Wenn man zur Erzeugung der Spectren Elemente oder ihre Salze zwischen Kohlenstäben verflüchtigt, legt sich fast immer über das Metallspectrum eine Reihe von Kohlenstoffbanden, welche die Messung der Linien oft in störender Weise erschweren. Eine genaue Kenntniss dieser Banden ist daher erforderlich, um nicht Metalllinien zu übersehen.

Ein Verfahren, bei welchem diese Banden nicht auftreten, besteht darin, dass man statt der Kohlenstäbe Stäbe des zu untersuchenden Metalles anwendet. Hierbei treten aber andere Unbequemlichkeiten auf. Die Selbstregulirung der Lampe ist ausgeschlossen, weil die glühenden Metallstäbe, sobald sie in Berührung kommen, zusammenschmelzen. Ist andererseits der Bogen einige Augenblicke erloschen, so überzieht sich das abgekühlte Metall mit einer schlecht leitenden

Oxydschicht und der Bogen lässt sich erst wieder entzünden, nachdem man die Stäbe abgefeilt hat.

Der elektrische Funken. Eine andere Elektricitätsquelle für die Gewinnung leuchtender Dämpfe ist der Funken der Influenzmaschine oder des Inductoriums; sie ist allein anwendbar, wenn es sich um die spectroskopische Untersuchung von Gasen handelt, und da sie leichter zugänglich ist als der Voltabogen, so wird sie auch mehr als dieser benutzt, obgleich die Funkenspectren complicirter sind und ihre Natur keineswegs völlig klargelegt ist. Die Temperatur des Funkens schwankt zwischen sehr weiten Grenzen. E. Wiedemann[1]) beobachtete in einem Geissler'schen Rohre eine Temperatur von 87 000^0.

Der Inductionsfunken richtet sich nach der Beschaffenheit der Inductionsrolle. Besteht diese aus sehr vielen Windungen eines dünnen Drahtes, so erhält man eine hohe Spannung, während kürzere und dicke Drähte eine geringere Spannung, aber eine grössere Elektricitätsmenge liefern. Die Entladungsintensität kann sowohl durch Verstärkung der primären Batterie, wie durch Einschaltung einer Funkenstrecke oder einer oder mehrerer Leydener Flaschen in den Stromkreis gesteigert werden. In der Regel verbindet man die Elektroden mit den Belägen eines Condensators, wie es Fig. 34 veranschaulicht. Der eine Pol des Inductoriums ist durch den Draht $K'p'$ direct mit dem äusseren Belag der Flasche L verbunden, der andere mit der Spitze T, von wo die Funken auf die mit der inneren Belegung in Verbindung stehenden Platte P überspringen. Von der Flasche führen die Drähte MK und $M'K'$ zu dem Halter H, an welchem die Metallelektroden E und E' angebracht sind. Zwischen ihnen springt der Funken über. Auch bei der Influenzmaschine kann die Elektricitätsmenge und die Intensität gesteigert werden; man verbindet gleichfalls ihre Pole mit den Belägen der Leydener Flaschen und kann auch durch Verlängerung der Funkenstrecke die Spannung erhöhen.

Um die Linienspectra der Metalle hervorzubringen, lässt man am einfachsten den Funken zwischen Elektroden aus dem zu untersuchenden Metalle überspringen; dabei werden kleine Theilchen derselben fortgerissen und verflüchtigt. Neben dem Spectrum des Metalles tritt aber auch stets das der Luft, aus den Stickstoff-, Sauerstoff- und Wasserstofflinien bestehend (siehe Stickstoff im speciellen Theile), auf.

Stehen die zu untersuchenden Metalle nicht als solche zur Verfügung, so kann man ihre Lösungen benutzen, indem man sie zur negativen Elektrode macht und den Funken zu ihnen überspringen lässt. Ein zweckmässiger Apparat, um solche Spectren längere Zeit beobachten zu können, ist der Fulgurator von Delachanal und Mermet[2]) (Fig. 35, a. f. S.). In den Boden des 15 mm weiten Glasgefässes A ist

---

[1]) E. Wiedemann, Wied. Ann. 6, 298 (1879). — [2]) Delachanal u. Mermet, Compt. rend. 81, (1875); Journ. de Phys. de d'Almeida 5, 10 (1876).

ein Platindraht eingeschmolzen, welcher mit dem negativen Pole des Inductionsapparates verbunden und über den eine, ihn um 0,5 mm überragende conische Capillare *D* geschoben wird. Ihr gegenüber befindet sich die positive Elektrode in Gestalt eines Platindrahtes, welcher bis auf das kurze Ende *d* in eine in den Kork *C* gesteckte Glasröhre eingeschmolzen ist. Giesst man die Salzlösung bis etwa zur halben Höhe der negativen Elektrode, so wird sie durch Capillarität bis zur Spitze von *D* gehoben und jeder Funken bringt etwas von ihr zur Zerstäubung. Der Apparat hat den Vortheil, dass kein Substanzverlust entsteht, dass der Spalt des Spectroskops vor Bespritzung geschützt ist, und dass der Funken sehr gleichmässig übergeht. Leider streift derselbe fast immer die Glaswandung, wodurch fremde Spectrallinien (von Calcium, Blei u. s. w.) hervorgerufen werden. Den letztgenannten Missstand vermeidet der Apparat von Hartley [1]) (Fig. 36), bestehend aus einem mit der Lösung gefüllten U-Rohre, in welches die aus Graphit bestehende untere Elektrode geschoben wird. Letztere hat tiefe Rinnen, welche das capillare Aufsteigen der Flüssigkeit befördern. Der obere Pol kann sowohl aus Metall, wie auch aus Graphit bestehen. Am besten nimmt man beide Pole aus Graphit, schärft sie meisselförmig zu und stellt die beiden Schneiden genau übereinander und in eine Linie mit dem Spalt des Spectroskopes. Die Verbindung mit dem Inductionsapparat bewirken Platindrähte.

Fig. 35.

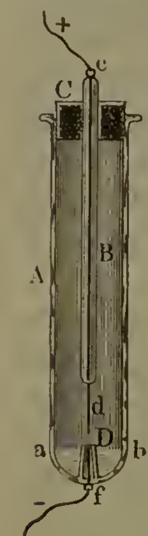
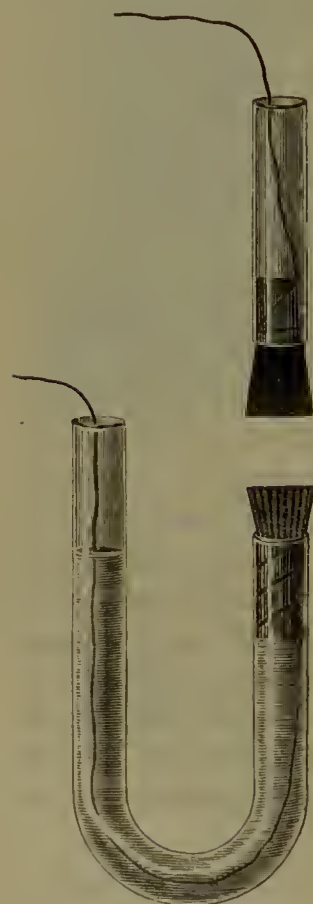


Fig. 36.



Andere geeignete Apparate zur Erzeugung von Funkenspectren mit Hülfe von Salzlösungen sind von Bunsen [2]), H. W. Vogel [3]), Lecoq de Boisbaudran [4]), Salet [5]) und Dupré [6]) angegeben.

Geissler'sche (Plücker'sche) Röhren. Zur Untersuchung von Gasen lässt man nach der Methode Plücker's [7]) die elektrische Entladung in den sogenannten Geissler'schen Röhren, welche die Gase im verdünnten Zustande enthalten, vor sich gehen. Die Röhren

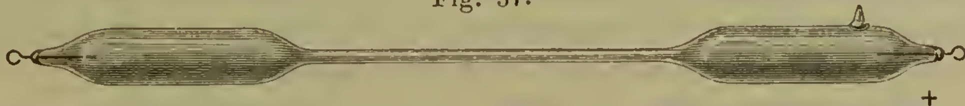
---

[1]) Hartley, Phil. Trans. **175**, 49, 325 (1884). — [2]) Bunsen, Pogg. Ann. **155**, 230. — [3]) H. W. Vogel, Prakt. Spectralanalyse, Berlin 1889. — [4]) Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. — [5]) Salet, Spectroscopie, Paris 1888. — [6]) Dupré, La nature 1882, p. 220. — [7]) Plücker, Pogg. Ann. **107**, 497 (1859).

(Fig. 37) bestehen meist aus einem oberen und einem unteren weiten Theile und einem capillaren Verbindungsstück. An den geschlossenen Enden sind Platindrähte eingeschmolzen, welche, da der Funken leicht Platintheilchen losreisst, die sich an der Glaswandung absetzen, im Inneren des Rohres einen Fortsatz aus Aluminiumdraht haben. Die Capillare leuchtet, weil sich darin das Licht zusammendrängt, am stärksten und wird deshalb für die spectroskopische Beobachtung benutzt.

Zur Füllung der Röhre ist an jedes der weiteren Rohrtheile ein Seitenrohr angeschmolzen, wodurch die Röhre einerseits mit einer Quecksilberluftpumpe, andererseits mit der Leitung des zu untersuchenden Gases verbunden wird. Hat die Füllung stattgefunden, so werden die seitlichen Röhren abgeschmolzen. Das Abschmelzen ist häufig mit Schwierigkeit verknüpft, weil bei der hohen Verdünnung des Gases von 1 bis 2 mm, welche zur Erzielung einer möglichst grossen Helligkeit des Spectrums nöthig ist, die äussere Luft dabei leicht in die Röhre dringt und sie unbrauchbar macht. Um eine Röhre nur für eine mehrere Stunden währende Beobachtung luftdicht zu erhalten, genügen gute Hähne, die verkittet werden [1]). Besondere Anleitungen

Fig. 37.



zum Füllen der Röhren haben Cornu [2]) und Deslandres [3]) gegeben. Die Luft ist nicht die einzige Verunreinigung, mit der man zu kämpfen hat. Bei der hohen Verdünnung machen sich sehr oft die Banden des Kohlenoxyds bemerkbar, eine Verunreinigung, welche sehr schwer zu beseitigen ist. Die Annahme, dass diese Banden durch die Dichtung der Luftpumpenhähne mit Fett und Kautschuk entstehen, hält Hasselberg [1]) nur selten für zutreffend; wahrscheinlich verdanken sie ihren Ursprung der Beschaffenheit des Glases, aus welchem durch die anhaltenden elektrischen Entladungen Kohlensäure oder Kohlenoxyd neben anderen Bestandtheilen frei werden. Ein anderer Uebelstand dieser Röhren ist die dicke, stark gekrümmte und häufig unhomogene Glaswandung der Capillare, welche wie eine Cylinderlinse wirkt und eine Verschiebung der Spectrallinien herbeiführen kann. Um dies zu vermeiden, sind von Monckhoven [4]), Piazzi-Smyth [5]), Salet [6]), Hasselberg [7]) u. A. Röhren construirt, bei welchen die Capillare rechtwinkelig zu den weiten Rohrstücken steht, so dass man durch sie der Länge nach durchsieht.

---

[1]) Hasselberg, Mém. de l'Acad. de St. Pétersb. [7] 31, Nr. 14 (1883). — [2]) Cornu, J. d. phys. de d'Almeida [2] 5, 100 (1886). — [3]) Deslandres, Ann. ch. phys. [6] 15, 28 (1888). — [4]) Monckhoven, Les Mondes 1877. — [5]) Piazzi-Smyth, Nature 19, 400, 458; 20, 75. — [6]) Salet, Ann. ch. phys. [4] 38, 52. — [7]) Hasselberg, Mém. de l'Acad. de St. Pétersb. [7] 30, Nr. 7 (1882).

Salet[1]) hat auch Röhren angegeben, bei denen die Elektroden, um deren möglichen Einfluss zu beseitigen, fortgelassen sind, und statt ihrer die weiten Rohrtheile mit Stanniol oder — wenn ein Erwärmen stattfinden soll — mit Blattgold bekleidet sind. Indem man die Salet'schen Röhren mit den Polen des Inductoriums oder mit den Kämmen der Holtz'schen Maschine in Verbindung bringt, findet in der Röhre eine Entladung durch Influenz statt. Hierbei ist die Temperatur aber bedeutend niedriger, als beim directen Durchgange des Stromes durch die Röhre.

Die Erzeugung der Gasspectren in den Geissler'schen Röhren ist noch mit anderen als den bereits erwähnten Schwierigkeiten verknüpft. Die Reactionen können unter Umständen von unglaublich kleinen Verunreinigungen des zu untersuchenden Gases herrühren und nicht von letzterem selbst. Andere Erscheinungen sind auf Absorption an den Glaswänden und Elektroden zurückgeführt, wieder andere auf die erreichbare sehr hohe Temperatur. Aber diese Ursachen reichen nicht zur Erklärung mancher räthselhaften Erscheinungen aus. Ob, wie Liveing und Dewar, sowie Ames vermuthen, der Inductionsfunken dadurch nicht das reine Spectrum der Substanz zeigt, dass er die Atome zwingt, neben den ihnen eigenen Schwingungen noch andere auszuführen, oder ob er, wie Andere annehmen, eine elektrolytische Dissociation der Molekeln und eine stürmische Bewegung der Atome bewirkt, sind Fragen, die wohl aufgeworfen sind, aber noch der Beantwortung harren.

Beobachtung der unsichtbaren Theile des Spectrums. Das menschliche Auge vermag nur den kleinen Theil des Spectrums, welcher sich zwischen den Wellenlängen 400 $\mu\mu$ und 760 $\mu\mu$ ausdehnt, unter gewöhnlichen Umständen wahrzunehmen. Blendet man die kürzeren Wellen völlig ab, etwa durch ein tiefrothes Glas, so dringt das Auge allerdings noch über 800 $\mu\mu$ hinaus, und hält man andererseits die längeren Wellen ab, so vermag es noch weit über 400 $\mu\mu$ hinaus zu sehen. Die Strecke jenseits von λ 760 $\mu\mu$ nennt man den ultrarothen (infrarothen) Theil, diejenige jenseits von λ 400 $\mu\mu$ den ultravioletten Theil. Im Ultraroth hat Langley[2]) die Wellenlänge 5300 $\mu\mu$ und Rubens[3]) λ 5750 $\mu\mu$ erreicht; im Ultraviolett gelang es Schumann[4]) auf photographischem Wege mit gelatinelosen Platten die Wellenlänge einer Liniengruppe zu λ 162 $\mu\mu$ zu ermitteln und Wasserstofflinien bis zu einer Wellenlänge von annähernd 100 $\mu\mu$ aufzunehmen.

Um den ultravioletten Theil mit dem Auge zu beobachten, hat Soret[5]) mit Erfolg die besonders von kurzwelligen Strahlen hervor-

---

[1]) Salet, Compt rend. **73**, 559. — [2]) Langley, Wied. Ann. **22**, 598 (1884); Ann. ch. phys. [6] **9**, 433 (1886). — [3]) Rubens, Wied. Ann. **45**, 238 (1892). — [4]) Schumann, Wien. Ber. 1892; Photogr. Rundschau 1890, 1892. — [5]) Soret, Arch. sc. phys. et nat. [2] **57**, 319 (1877); **61**, 322; **63**, 89; [3] **4**, 261; **9**, 513; **10**, 429: Ann. ch. phys. [5] **11**, (1877); Compt. rend. **86**, 1062 (1878); **97**, 314, 572.

gebrachte Fluorescenz nutzbar gemacht, indem er im Ocular des Prismenspectroskopes einen fluorescirenden Gegenstand, z. B. eine Uranglasplatte, einfügte. v. Helmholtz[1]) brachte zu demselben Zwecke eine dünne Schicht von Chininsulfat an den Ort im Fernrohre, wo die Objectivlinse das reelle Bild des Spectrums entwirft. — Da alle Glassorten ultraviolettes Licht absorbiren, und zwar schon bei 350 $\mu\mu$ in erheblichem und bei etwa 300 $\mu\mu$ in vollkommenem Maasse, so ist bei Untersuchungen im Ultraviolett ein Spectralapparat anzuwenden, bei welchem Linsen und Prismen aus Quarz hergestellt sind. Letzterer eignet sich nach Stokes[2]) für solche Untersuchungen am besten, doch fand Schumann[3]), dass Quarz Wellen unter 200 $\mu\mu$ nicht mehr durchlässt und in solchen Fällen durch Flussspath ersetzt werden muss. Mit Hülfe dieses Materials und eines völlig luftleer gemachten Spectrographen hat Schumann die oben erwähnten kurzwelligen Linien erreicht. Auch bei den für Untersuchungen im ultravioletten Theile sehr geeigneten Gitterspectroskopen sind alle Glastheile zu vermeiden. Die atmosphärische Luft lässt gleichfalls die kurzen Wellen nicht hindurch, was das plötzliche Aufhören des Sonnenspectrums bei λ 300 $\mu\mu$ erklärt. Cornu[4]) fand, dass letzteres in grossen Höhen weiter reicht.

Bei den Untersuchungen im Ultraviolett hat in neuerer Zeit die Photographie alle anderen Beobachtungsmethoden verdrängt. Auf kürzere Wellen als 200 $\mu\mu$ wirkt allerdings die Gelatine absorbirend; für solche extremen Fälle hat Schumann[5]) Platten ohne Gelatinehäutchen hergestellt.

Die ultrarothen (infrarothen) Strahlen lassen sich durch ihre Wärmewirkung, ihr photochemisches Verhalten und mit Hülfe der Phosphorescenz ermitteln. Ihre Existenz hat William Herschel[6]) im Jahre 1800 zuerst wahrgenommen, indem er bei einer Prüfung des Wärmeeffectes der einzelnen Spectraltheile sah, wie das Thermometer am meisten jenseits des rothen Endes stieg[7]). Melloni[8]) fand, dass die Wärmewirkung von der Substanz des Prismas beeinflusst wird, und dass Steinsalz besonders durchlässig für die langen Wellen ist. Später erwiesen sich Flussspath und Sylvin als gleich verwendbar und wandte man statt des Thermometers die Thermosäule an (Franz[9]), J. Müller[10]), Lamansky[11]), Mouton[12]), Desains[13]). Bei Benutzung des Gitterspectroskopes wird die Absorptionswirkung des Prismenmaterials ganz vermieden. Be-

---

[1]) Helmholtz, Optique physiologique, p. 352. — [2]) Stokes, Phil. Trans. 1852, p. 463. — [3]) Schumann, Phot. Rundschau 1890. — [4]) Cornu, Compt. rend. 88 (1879). — [5]) Schumann, Phot. Rundschau 1890. — [6]) W. Herschel, Phil. Trans. 90 (1880). — [7]) Im Gitterspectrum ist die Wärmevertheilung eine andere und befindet sich das Maximum im Gelb. — [8]) Melloni, Ann. ch. phys. [2] 55 (1833). — [9]) Franz, Pogg. Ann. 94 (1855). — [10]) Müller, Ebend. 105 (1858). — [11]) Lamansky, Ebend. 146 (1872). — [12]) Mouton, Compt. rend. 88, 89 (1879). — [13]) Desains, Ebend. 90 (1880); 94 (1882).

deutend empfindlicher als die Thermosäule ist das von Langley[1]) erfundene Instrument, welches er zuerst *actinic balance*, später Bolometer nannte, und das noch eine Temperatursteigerung von 1 milliontel Grad Celsius erkennen lässt. Das Bolometer besteht aus einer Wheatstone'schen Brücke, deren beide Zweige sehr dünne, berusste Metalldrähte haben, welche bei gleicher Temperatur gleichen Widerstand zeigen. Werden nun die Drähte des einen Stromzweiges von der Wärmequelle bestrahlt und erwärmt, so wird das Gleichgewicht der Brücke gestört, und muss das eingeschaltete Galvanometer einen Ausschlag angeben. Mit diesem Instrument sind von Langley die Emissionsspectra der Sonne, des Mondes und von festen Körpern zwischen 0⁰ und 1500⁰ untersucht, von R. v. Helmholtz[2]), Julius[3]), K. Angström[4]), Rubens[5]), Snow[5]), sowie Lewis und Ferry[6]) Flammen-, Bogen- und Absorptionsspectren.

Die Photographie hat sich dem Roth und Ultraroth gegenüber lange Zeit als unwirksam erwiesen. Zwar hatte E. Becquerel[7]) beobachtet, dass Roth auf vorher kurz beleuchtetes Chlorsilber einwirkt, und Draper[8]) sogar vermocht, den Anfang des Ultraroths zu photographiren, aber es blieb Abney[9]) vorbehalten, eine besondere Bromsilberemulsion zu präpariren, auf welche das Infraroth photographisch einwirkt. Auf diese Weise hat Abney die ultrarothe Region des mit Prisma und Gitter erzeugten Sonnenspectrums bis zur Wellenlänge 2700 $\mu\mu$, sowie eine Reihe von Absorptionsspectren photographirt.

Das dritte Verfahren zur Untersuchung der infrarothen Strahlen gründet sich auf ihre von E. Becquerel[10]) entdeckte Phosphorescenzwirkung. Setzt man eine Schicht von Balmain'scher Leuchtfarbe zuerst diffusem Tageslicht aus und lässt dann das ultrarothe Spectrum darauf fallen, so tritt zunächst der Spectralstreifen heller hervor, während die Fraunhofer'schen Linien sich nicht verändern; bald darauf hört aber das Leuchten an den vom Ultraroth getroffenen Stellen auf, wogegen die Fraunhofer'schen Linien noch weiter leuchten und hell auf dunklem Grunde erscheinen. Die auf solche Weise von E. und

---

[1]) Langley, Sillim. Journ. [3] 21, 187; Proc. Amer. Acad. 16, 342; Sillim. Journ. [3] 27, 169; Wied. Ann. 22, 598; Sillim. Journ. [3] 31 (1886); 32 (1886); 36 (1888); 38 (1889). — [2]) R. v. Helmholtz, Die Licht- und Wärmestrahlung verbrennender Gase, Berlin 1890. — [3]) Julius, Die Licht- und Wärmestrahlung verbrannter Gase, Berlin 1890. — [4]) K. Angström, Wied. Ann. 36 (1889). — [5]) Rubens, Ebend. 45, 238; Rubens und Snow, ebend. 46 (1892). — [6]) Lewis u. Ferry, Johns Hopkins Univ. Circul. 13, 74 (1894). — [7]) E. Becquerel, Ann. ch. phys. [3] 9, 1843. — [8]) Draper, Phil. Mag. [3] 22, (1843). — [9]) Abney, Phil. Trans. 171, 653 (1880); Ebend. 177 (1886); Proc. Roy. Soc. 31 (1881); Phil. Mag. [5] 3, 22. — [10]) E. Becquerel, Compt. rend. 63, (1866); 77 (1873); 83 (1876); Ann. ch. phys. [5] 10, (1877); Compt. rend. 104, (1887); 107 (1888); H. Becquerel, ebend. 96 (1883); 97 (1883); Ann. ch. phys. [5] 30, 1883; Compt. rend. 99, (1884); 102 (1886).

H. Becquerel angestellten Untersuchungen stimmen mit den von Langley und von Abney gewonnenen Resultaten ganz gut überein.

Lommel[1]) hat das Becquerel'sche Verfahren dadurch verbessert, dass er das ultrarothe Spectrum mit gewöhnlichen Platten photographirt. Nachdem auf einer phosphorescirenden Fläche das Bild des Spectrums mit den bläulich leuchtenden Fraunhofer'schen Linien auf dunklem Grunde erzeugt ist, wird auf dieses Bild eine gewöhnliche Gelatinetrockenplatte gelegt, welche das Spectrum mit allen seinen Einzelheiten deutlich aufnimmt. In dieser Weise hat Lommel das mit einem Gitter erzeugte Sonnenspectrum photographirt.

Die Gitter, insbesondere die concaven, und zwar in Verbindung mit dem Prisma, sind für die ultrarothe Region besonders geeignet, weil durch die überfallenden Spectra (siehe S. 38) die Wellenlängen im Ultraroth mit genau bekannten Wellenlängen des sichtbaren Spectrums verglichen werden können. Die gewöhnlichen Dispersionsformeln für die Prismen haben im infrarothen Gebiete keine Geltung[2]).

Beobachtung von Absorptionsspectren. Als Lichtquelle für die vor dem Spalt des Spectroskopes befindlichen Untersuchungsobjecte benutzt man Himmelslicht (directes Sonnenlicht nur bei wenig durchsichtigen Stoffen), elektrisches Licht, Linnemann'sches Zirkonlicht, Auer'sches Gasglühlicht, sowie dasjenige von Argandbrennern und hellen Petroleumlampen. Das Himmelslicht ist wegen der zur Orientirung dienenden Fraunhofer'schen Linien bequem; es wird aber unbenutzbar, sobald es sich um die Beobachtung der Absorptionslinien von Gasen oder um Arbeiten im Ultraviolett handelt; in letzterem Falle ist künstliches Licht von grosser Helligkeit allein brauchbar.

Die zu untersuchenden Stoffe können gasförmig, flüssig oder fest sein. Gase werden in Glasröhren eingeschlossen, die mit Plangläsern verkittet werden. Für Lösungen benutzt man am besten Glaströge mit planparallelen Wänden. H. W. Vogel[3]) verwendet gewöhnliche Reagenscylinder, die so aufzustellen sind, dass die Strahlen diametral durch das Rohr gehend in den Spalt treten. Um den Schwierigkeiten der richtigen Einstellung zu begegnen, bedient sich Vogel eines viereckigen Wasserkästchens, in welchen das gefüllte Reagensglas eintaucht. Landauer[4]) hat an Stelle des von Gladstone[5]) angewandten keilförmigen Gefässes, welches auf einen Blick alle Abstufungen der Absorption zeigt, die Benutzung des bei der Beobachtung von Flammenfärbungen gebräuchlichen Hohlprismas, das man horizontal oder vertical in einen Halter spannt, empfohlen. Dasselbe bietet Gelegenheit, Schichten

---

[1]) Lommel, Wied. Ann. 20, (1883); 30 (1887); Sitzungsber. Münchener Akad. 18 (1888); 20 (1890). — [2]) Langley, Phil. Mag. [5] 17 (1884); 22 (1886); Sillim. Journ. [3] 27, 169; Wied. Ann. 22, 598; Desains u. Currie, Compt. rend. 90 (1880); 94 (1882). — [3]) Vogel, Prakt. Spectralanalyse, Berlin 1889. — [4]) Landauer, Ber. 11, 1773 (1878). — [5]) Gladstone, Journ. Chem. Soc. 10, 79; Phil. Mag. [4] 24, 417.

verschiedener Dicke rasch nach einander zu beobachten, und eignet sich namentlich für qualitative Untersuchungen, bei denen der kleine brechende Winkel des Gefässes belanglos ist.

Die Absorptionsspectren sind von der Concentration und Schichtdicke abhängig. Dieser Umstand macht es schwierig, die beobachteten Absorptionsstreifen genau zu charakterisiren. Um dies zu thun, muss man den Messungen der Absorptionsgrenzen Angaben über die Concentration und Schichtdicke der Lösung beifügen. Viele Beobachter haben sich darauf beschränkt, von den verschiedenen Absorptionsstufen einer Lösung solche zur Wiedergabe in schematischen Zeichnungen auszuwählen, welche in charakteristischer Weise eine schwache und eine starke Absorption zeigen.

An Stelle dieser Beobachtungsart hat Krüss[1]) die Bestimmung der Dunkelheitsmaxima eingeführt. Dies geschieht auf folgende Weise. Man verdünnt die zu untersuchende Flüssigkeit so weit, dass der Streifen, dessen Maximum gemessen werden soll, gut sichtbar geworden ist, und misst die Grenzen desselben. Die Flüssigkeit wird wiederholt weiter verdünnt, wobei jedesmal von Neuem die Absorptionsstreifen gemessen werden. Auf diese Weise werden stets je zwei Werthe erhalten, welche bei wachsender Verdünnung der Flüssigkeit sich einander schliesslich bis auf ein Geringes nähern; zwischen den zuletzt gefundenen Stellen liegt dann das Dunkelheitsmaximum.

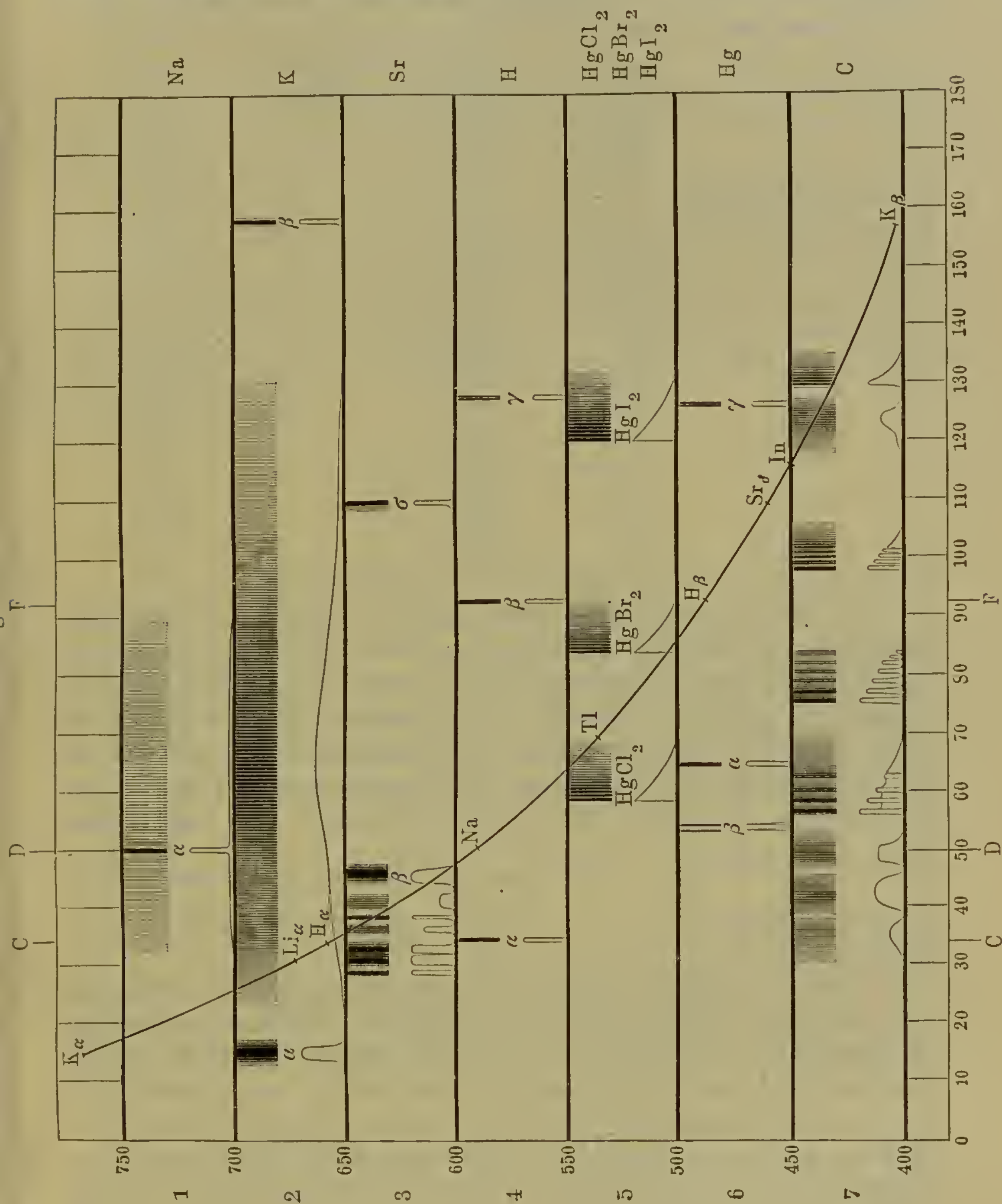
Die Messvorrichtungen und die Scala. Die Messvorrichtungen, deren Einzelheiten bei der Beschreibung der Spectroskope erörtert sind, bestehen bei den einfachen Apparaten mit einem Prisma von 60° aus einer Millimeterscala, welche in das Beobachtungsrohr reflectirt wird. In der Regel stellt man nach Bunsen's[2]) Vorgang die Natriumlinie auf 50 ein, und zwar so, dass das Bild der feststehenden Spaltbacke genau auf diese Zahl fällt. Man kann aber auch jeden anderen Theilstrich für die Natriumlinie wählen, so lange das Spectrum im Bereich der Scala bleibt. Im Anfange hatte Bunsen[3]) dazu den Scalentheil 100 benutzt, wie es auch Lecoq de Boisbaudran[4]) und Krüss[5]) empfehlen, während H. W. Vogel die Natriumlinie auf 0 stellt und nach dem brechbareren Ende positive, nach dem minder brechbaren negative Vorzeichen vor die Scalentheile setzt.

Da es aber unmöglich ist, Spectroskope mit völlig gleicher Dispersion herzustellen, so rechnet man allgemein die Scalentheile in Wellenlängen um und macht alle Angaben nur in solchen. Die Umrechnung geschieht am besten mit Hülfe einer Interpolationscurve, welche man auf folgende Weise erhält. Man nimmt Coordinatenpapier

---

1) Krüss, Ber. 16, 2051; Zeitschr. phys. Chem. 2, 312. Specielle Methoden der Analyse, Hamburg 1894. — 2) Bunsen, Pogg. Ann. 119, 10. — 3) Bunsen, Pogg. Ann. 113, 377. — 4) Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. — 5) Krüss, Ber. 19, 2742.

und trägt als Abscissen die Scalentheile ein, als Ordinaten die Wellenlängen von 390 bis 800 $\mu\mu$ und verbindet die so erhaltenen Punkte durch eine möglichst gleichmässig gekrümmte Linie. Man erhält dann



eine ähnliche Dispersionscurve, wie sie in Fig. 38 mit abgebildet ist, und von der man die Wellenlänge aller Scalentheile und umgekehrt ablesen kann. Zu ihrer Anfertigung bestimmt man für das betreffende Spectroskop die Lage der folgenden Linien, für welche die Wellenlängen in Angström'schen Einheiten (Zehnmilliontel Millimeter) und

die Theilstriche der alten Kirchhoff-Bunsen'schen Scala beigefügt sind:

		Wellenlänge in A-E. der Rowland'schen Scala	Scalentheile nach Kirchhoff-Bunsen
Flammenspectra:	Li	6708,2	31,8
	Na	5896,16 } Durchschnitt 5890,19 } 5893,2	50,0
	Tl	5350,6	67,8
	Mg	5183,9	74,5
	Sr	4607,5	105,5
Fraunhofer'sche Linien:	A	7607,8*	17,5
	B	6870,2	28,9
	C	6563,1	35,0
	D_1	5896,16 }	50,0
	D_2	5890,19 }	
	E	5270,2*	70,9
	b_1	5183,8	74,5
	b_2	5172,9	74,8
	b_3 u. b_4 .	5168,1*	75,0
	F	4861,5	90,0
	G	4308,0*	127,3
	H	3968,6	161,2
	K	3933,8	165,7

* Durchschnitt mehrerer Linien.

Es sind auch photographische Scalen hergestellt, welche direct Wellenlängen anzeigen; bei ihnen sind aber an einigen Stellen die Theilstriche so eng zusammengedrängt, dass es empfehlenswerther ist, Scalen mit gleichen Abständen zu verwenden und die Zahlen auf Wellenlängen zu reduciren. Statt der Wellenlängen wird zuweilen der reciproke Werth derselben benutzt, nämlich die Anzahl Wellen, welche im luftleeren Raume bei 0° auf 1 cm kommen. Man erhält diese Schwingungszahl $\left(\frac{1}{\lambda}\right)$, indem man mit den auf das Vacuum von 0° reducirten Wellenlängen in 1 dividirt[1]) und rechnet sie sechs- oder siebenstellig aus.

Bei den grösseren Spectralapparaten mit mehreren automatisch auf minimale Ablenkung sich einstellenden Prismen werden die Messungen dadurch bewirkt, dass man die Stellung des Beobachtungsfernrohres auf einer Kreistheilung abliest, und bei den Spectroskopen mit zurückgeführtem Strahl wird, da das Fernrohr fest montirt ist, die Stellung der Mikrometerschraube, welche das letzte Prisma bewegt, zu den Messungen benutzt. Mit allen diesen Vorrichtungen kann nur eine annähernde Genauigkeit erzielt werden, weil es schwer ist, die mechanischen Einrichtungen vollkommen exact herzustellen, und weil die Temperatur die Brechung und Dispersion der Prismen beeinflusst. Um

---

[1]) Brit. Assoc. Report 1878. Einige Spectroskopisten, u. A. Kayser und Runge, verwenden die unreducirten Wellenlängen zur Umrechnung.

mit Prismenapparaten genaue Messungen vorzunehmen, ist es rathsam, das Spectrum mit dem Sonnen- oder Eisenspectrum zu vergleichen. Beide sind reich an Linien und genau gemessen (siehe den speciellen Theil). Eder[1]) empfiehlt für prismatische Spectren von mässiger Dispersion das Funkenspectrum einer Legirung von gleichen Theilen Cadmium, Zink und Blei zur Orientirung.

Die genauesten Messungen erzielt man bei der Ocularbeobachtung durch Spectrometer mit Plangitter oder Prisma, bei Zuhülfenahme der Photographie mit den Concavgitterspectroskopen.

Aufzeichnung der Spectra. Die von Bunsen empfohlene graphische Darstellung der Spectra geschieht auf Millimeterpapier, auf welches die Linien und Banden in der im Spectroskop beobachteten Breite eingezeichnet werden und die Lichtstärke durch grössere oder geringere Entfernung der Contouren von der Horizontalen angegeben wird. Fig. 38[2]) zeigt, wie diese Curven das Bild, welches der Apparat liefert, wiedergeben.

Das Spectrum.

I. Emissionsspectra.

Man unterscheidet drei Arten von Spectren: das continuirliche Spectrum, das cannelirte oder Bandenspectrum und das Linienspectrum. Nach Erörterung der Mittel und Wege zur Erzeugung und Beobachtung der Spectra sind die Einflüsse, welche verändernd auf sie einwirken, sowie die Gesetze, welche ihren Bau beherrschen, in Betracht zu ziehen. Arbeiten[3]) der neuesten Zeit bringen darüber bereits wichtige Aufschlüsse, und da Aenderungen des Spectrums mit Aenderungen der Atombewegung zusammenhängen, so erscheint die Spectroskopie in hohem Grade geeignet, zur Erforschung der Molekularstructur der Materie beizutragen.

Die Molekeln, aus denen die Körper zusammengesetzt gedacht werden, bestehen aus gleichartigen oder verschiedenartigen Atomen, und zwar wahrscheinlich aus einer je nach Temperatur und Druck veränderlichen Menge derselben. In festen Körpern werden die Molekeln, welche in stetiger Bewegung sind, durch die zwischen ihnen

---

[1]) Eder, Denkschr. der Wiener Akademie 60 (1893). — [2]) Aus Wiedemann-Ebert, Physikal. Practicum, Braunschweig 1893. — [3]) Kayser, Spectralanalyse, Berlin 1883; Spectralanalyse in Encyklopädie der Naturwiss. 32 (Handb. d. Physik von Winkelmann), Breslau 1894, S. 419; Wied. Ann. 42, 1891; Chem.-Ztg. 16, 593 (1892); Kayser und Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1888 bis 1894; Rydberg, Svenska Vetensk. Akad. Handl. 23, 1890; Deslandres, Compt. rend. 103, 375 (1886); 104, 972 (1887); Julius, Ann. de l'École polyt. de Delft 1889; Wüllner, Wied. Ann. 8 (1874); 34 (1888); E. Wiedemann, Ebend. 5 (1878); Schuster, Rep. Brit. Assoc. 1880; Lockyer, Studien zur Spectralanalyse, Leipzig 1879.

obwaltende Anziehungskraft zusammengehalten; die Schwingungen, welche sie um die ihnen von den Nachbarmolekeln angewiesene Gleichgewichtslage ausführen, offenbart sich als Wärme. Bei dem flüssigen Zustande ist auch noch so viel gegenseitige Anziehung zwischen den Molekeln vorhanden, dass sie sich nicht völlig von einander trennen. Bei den Gasen hingegen sind sie von einander ganz unabhängig, sie fliegen in weiten Abständen durch den Raum und prallen nur zeitweilig an einander.

Ausser der Wärmebewegung der ganzen Molekel vollführen ihre Theile eine dauernde Bewegung. Während die erstere für alle Gase und Dämpfe — von der freien Weglänge und Geschwindigkeit abgesehen — gleich ist, muss die Atombewegung für jede Molekel eine andere sein, weil sie von der Lagerung, Zahl und Masse der Atome, von den unter ihnen thätigen Kräften und von der Art der Zusammenstösse verschiedener Molekeln abhängig ist. Die Schwingungen der Atome bedingen die Schwingungen, welche wir im Lichte glühender Dämpfe wahrnehmen, und Aenderungen im Aufbau der Atome werden auch Aenderungen des Spectrums herbeiführen. Wie die Schwingungen der Atome und des Lichtäthers zusammenhängen, entzieht sich noch unserer Kenntniss. Aber es lässt sich denken, dass die Wellenbewegung des Lichtäthers uns die Atomschwingungen anzeigt, und dass die Schwingungszahlen der gesehenen Spectrallinien die Schwingungszahlen der Atome angeben.

Wie nach Maxwell die Molekeln eines Dampfes sich in allen möglichen Temperaturstadien befinden und nur die Mehrzahl der Mitteltemperatur entspricht, wird auch das Spectrum, welches einer bestimmten Temperatur zukommt, nicht rein erscheinen, sondern ein Gemisch darstellen, in welchem die der mittleren Temperatur entsprechenden Strahlen vorherrschen.

Bei den festen Körpern, deren Molekeln sehr nahe liegen, so dass ihre Atome unter dem Einflusse äusserer Kräfte stehen und Eigenschwingungen nicht entwickeln können, erzeugen die fortwährenden Zusammenstösse alle möglichen Schwingungen. Bei niedriger Temperatur sind es langsame, welche strahlende Wärme hervorbringen, bei steigender werden die Stösse stärker und die Schwingungen schneller, zu den ultrarothen Strahlen kommen die rothen, dann die gelben und sofort, bis bei der höchsten Temperatur die ultravioletten zum Vorschein kommen.

Alle festen Körper liefern daher ein continuirliches Spectrum, das alle denkbaren Wellenlängen enthält. Dasselbe gilt von den Flüssigkeiten, so weit sie in den Zustand der Emission versetzt werden können.

Bei den leuchtenden Gasen und Dämpfen sind dagegen zwischen je zwei Zusammenstössen der Molekeln verhältnissmässig lange Pausen, so dass sich die Eigenschwingungen frei entwickeln und im Spectrum

nur die ihnen entsprechenden Wellenlängen zum Vorschein kommen. Es entsteht ein discontinuirliches Spectrum, das nur aus einzelnen hellen Stellen besteht. Unter den discontinuirlichen Spectren unterscheidet man Banden- und Linienspectra, früher von Plücker und Hittorf[1]) Spectren erster und zweiter Ordnung genannt. Die Bandenspectra bestehen gewöhnlich aus einer Anzahl von Banden, deren eine Kante hell ist, und welche sich fast bis zur Dunkelheit nach der anderen Kante hin abschattiren. Da dies einige Aehnlichkeit mit einer seitlich beleuchteten cannelirten Säule hat, so nennt man solche Spectren auch cannelirte Spectra.

Bei starker Dispersion lösen sich die Cannelirungen in eine grosse Zahl von feinen Linien auf, die nach Maassgabe der Helligkeit dichter neben einander liegen und Regelmässigkeiten in der Lagerung aufweisen.

Die Bandenspectren kommen den Verbindungen zu, werden aber auch von Elementen bei niedrigerer Temperatur, als zur Erzeugung der Linienspectra erforderlich ist, hervorgebracht.

Die Linienspectra bestehen aus einzelnen hellen Linien (Spaltbildern), welche, wenn durch Prismen erzeugt, nicht ganz gerade, sondern nach dem Roth hin leicht gekrümmt sind. Die Linien sind bedeutend weniger zahlreich als bei den Bandenspectren, und lassen anscheinend im Aufbau und in der Intensität Regelmässigkeiten nicht erkennen.

Wie sich der Uebergang des Linienspectrums in das wesentlich verschiedene Bandenspectrum vollzieht, ist noch unerklärt. Man weiss nur, dass letzteres eine Temperatur voraussetzt, welche zwischen derjenigen des continuirlichen und des Linienspectrums liegt, und nimmt an, dass das Bandenspectrum von zusammengesetzteren Molekeln hervorgebracht wird, welche linienreichere Spectren erzeugen können als Molekeln, die nur aus wenigen Atomen bestehen.

Es ist lange eine Streitfrage gewesen, ob das Spectrum innerhalb der Hauptstufen als unveränderlich anzusehen ist, so lange die Molekel dieselbe bleibt. Wüllner[2]) verneinte dies, indem er ausführte, dass bei der unverändert bleibenden Molekel die Emission Function der Temperatur ist, derart, dass bei niedriger Temperatur das Bandenspectrum, bei höherer das Linienspectrum emittirt wird; beide zusammen bilden das ganze Spectrum der betreffenden Substanz, und es findet ein ununterbrochener Uebergang des einen Spectrums in das andere statt. Im Gegensatz zu dieser Annahme steht eine namentlich von Kayser entwickelte Anschauung, die heute fast allgemein getheilt wird. Danach muss die Molekel, so lange sie unverändert bleibt, derselben Schwingung fähig bleiben; sie braucht aber bei keiner Tempe-

---

[1]) Plücker u. Hittorf, Phil. Trans. 155 (1865). — [2]) Wüllner, Wied. Ann. 8 (1879); 34 (1888); Ber. Berl. Akad. 38, (1889); vergl. auch dessen Lehrbuch der Physik.

ratur alle ihr möglichen Schwingungen auszuführen, insbesondere nicht alle mit gleicher relativer Intensität. Mit der Stärke der Zusammenstösse wächst im Allgemeinen die Intensität der kürzeren Wellenlängen. Diese Thatsache ist in vielen Fällen beobachtet worden. Geht man von der Temperatur der Bunsenflamme zu der des galvanischen Lichtbogens über, so zeigt sich eine bedeutende Verstärkung der ultravioletten Linien. Aber auch die längeren Wellen werden heller, und indem bei steigender Temperatur vorher nicht wahrnehmbare schwache Linien sichtbar werden, wird das Spectrum linienreicher und die Intensität der Linien grösser. Einen zweifellosen Beweis für die Unveränderlichkeit des Spectrums innerhalb der einzelnen Spectralstufen erblickt Kayser in der Selbstumkehrung zahlreicher Linien. Mit diesem Ausdruck bezeichnet man die Thatsache, dass, wenn der das Licht ausstrahlende heisse Dampf von einer Schicht kühleren Dampfes umgeben ist, das Licht des ersteren absorbirt wird und die helle Linie von einer dunklen durchzogen erscheint. Da dieselben Strahlen absorbirt und emittirt werden, emittirt der kühlere Dampf die gleiche Welle wie der heisse, nur mit geringerer Intensität. Wenn nun die Umkehrbarkeit zwischen den erreichbaren Temperaturgrenzen, also etwa 1000° bis 5000°, unverändert bleibt, so ist damit die Continuität der Emission zwischen denselben Grenzen erwiesen.

Einfluss von Temperatur und Druck. Während die Temperatur innerhalb der Spectralstufen die Intensität der Linien beeinflusst, führt eine Steigerung des Druckes eine Verbreiterung der Linien herbei. Diese Verbreiterung[1]), welche alle Körper, wenn auch in verschiedenem Maasse, zeigen können, kann symmetrisch nach beiden Seiten erfolgen oder nur einseitig; im letzteren Falle geschieht es in der Regel nach der weniger brechbaren Seite hin. Die Verbreiterung kann ausserordentlich gesteigert werden, beim Wasserstoff derart, dass die Linien zusammentreten und ein continuirliches Spectrum bilden[2]). Zöllner[3]) hat geglaubt, aus dem Kirchhoff'schen Gesetz die Folgerung ziehen zu können, dass die Dicke der leuchtenden Schicht dies bewirkt. Dies entspricht aber nicht der Beobachtung, dass die Spectren der Geissler'schen Röhren ebenso scharfe Linien aufweisen bei longitudinaler Durchsicht, wie bei transversaler, und dass die ausserordentlich dicken Schichten der Sonnenatmosphäre und der Protuberanzen scharfe Linien hervorbringen. Vielmehr wird jetzt allgemein die zuerst von Lockyer und Frankland[4]) entwickelte Anschauung getheilt, der zufolge in fast allen Fällen die Verbreiterung

---

[1]) Vergl. Schuster, Brit. Assoc. Report 1880, p. 275; Roscoe-Schuster, Spectralanalyse, Braunschweig 1890, S. 145. — [2]) Frankland, Proc. Roy. Soc. 16, 416 (1868); Wüllner, Pogg. Ann. 137, 369 (1869). — [3]) Zöllner, Pogg. Ann. 142, 88 (1871). — [4]) Lockyer u. Frankland, Proc. Roy. Soc. 27, 288 (1869).

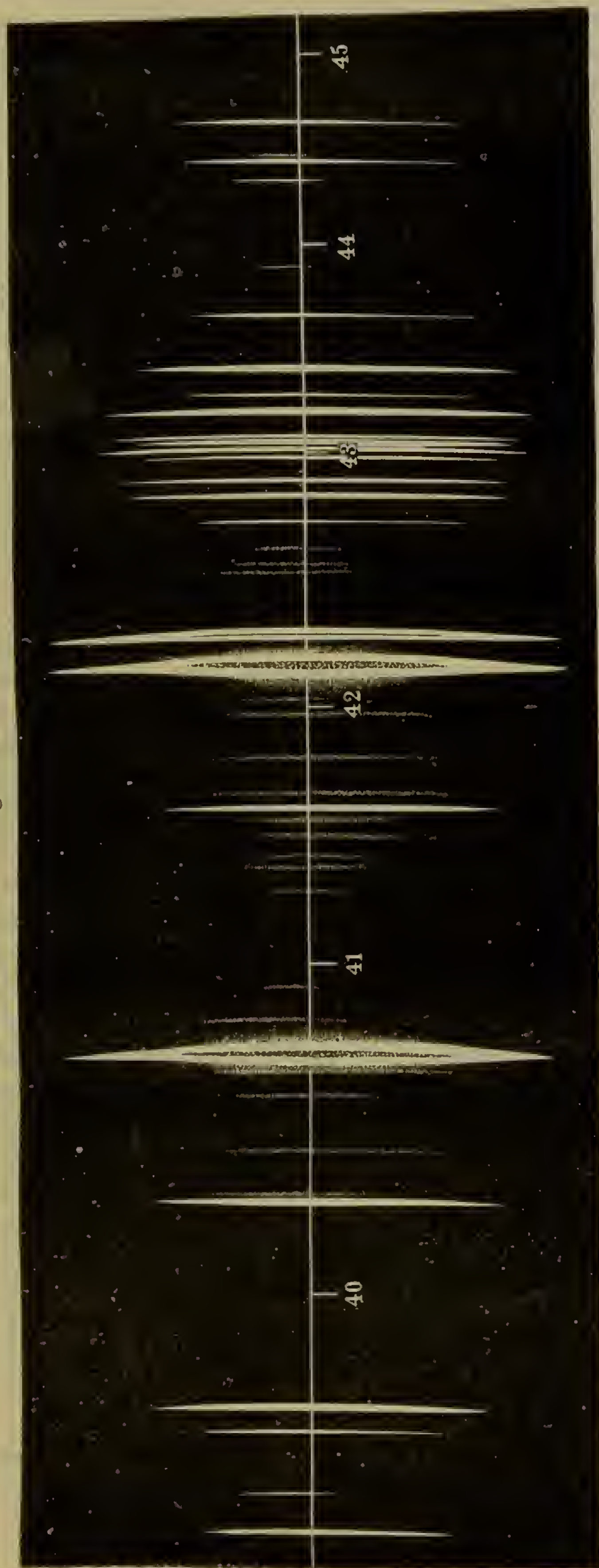


Fig. 39.

der Linien durch Druck hervorgerufen wird. Nebenbei ist auch die Temperatur von Einfluss, da bei den in Betracht kommenden Fällen mit einer Steigerung der Temperatur zugleich eine Druckvermehrung verknüpft ist. Theoretisch wird der Vorgang in der Weise erklärt, dass, so lange die Molekel einzeln vibrirt, die Schwingungen regelmässig und gleichzeitig, und in Folge dessen die Spectrallinien scharf sind. Kommen aber andere Molekeln in die Nähe, so werden durch die Stösse Unregelmässigkeiten der Schwingungen herbeigeführt. Die Anzahl und die Intensität der Stösse hängt aber vom Drucke und der Temperatur ab [1]).

Lockyer's lange und kurze Linien. Von Lockyer [2]) rührt eine Methode her, welche den Einfluss der Temperatur und des Druckes auf die Spectren leicht

---

[1]) Vergl. Lippich, Pogg. Ann. **139**, 465 (1870). — [2]) Lockyer, Phil. Trans. **163**, 253 u. 639 (1873).

erkennbar macht. Stellt man den zur Erzeugung des Spectrums benutzten galvanischen Lichtbogen oder die Funkenbahn horizontal zum verticalen Spalt des Spectroskops und lässt durch eine Linse das Bild auf den Spalt fallen, so erhält man ein Spectrum, welches lange und kurze Linien verschiedener Breite aufweist. Fig. 39 (a. v. S.) zeigt ein solches von einem Gemisch von Strontium und Calcium herrührendes Spectrum. Das Bild des Spaltes entspricht einem Bilde des Querschnittes des Kohlebogens, und zwar wird die Mitte des Bildes von den Strahlen aus der Mitte des Flammenbogens gebildet, die Ränder von den Strahlen des Randes. Da in der Mitte des Bogens der leuchtende Dampf sowohl heisser wie dichter ist, als am Rande, so muss, wenn Temperatur und Druck die Spectrallinien beeinflussen, die Mitte des Spectrums sich, wie es der Fall ist, von den Rändern unterscheiden. Es treten lange Linien auf, die von Rand zu Rand reichen, und kurze, die nur die Mitte einnehmen, alle sind in der Mitte dicker als an den Enden. Nicht nur die hellsten Linien sind lang, auch schwächere können lang oder kurz sein. Lockyer folgert aus dieser Erscheinung, dass die langen Linien schon bei niedriger Temperatur entstehen und den Hauptlinien entsprechen, welche mit den gewöhnlichen Mitteln wahrgenommen werden, während die kurzen Linien nur bei hoher Temperatur entstehen; die Ausbreitung in der Mitte entspricht der grösseren Dichte, welche im Inneren des Flammenbogens herrscht.

II. Absorptionsspectra.

Das Kirchhoff'sche Gesetz. Die Uebereinstimmung der gelben Natriumlinien mit der Fraunhofer'schen Doppellinie *D* des Sonnenspectrums war schon 1824 von Fraunhofer wahrgenommen und hat schon frühzeitig einige Forscher[1]) die Beziehungen zwischen Emission und Absorption des Lichtes ahnen lassen, welche Kirchhoff[2]) im Jahre 1859 zur Aufstellung und Begründung des nach ihm benannten Gesetzes führte. Kirchhoff entwarf, um die Coincidenz der Natrium- und *D*-Linien direct zu prüfen, ein mässig helles Sonnenspectrum und brachte vor den Spalt des Spectroskopes eine Natriumflamme. Dabei sah er, wie die dunklen Linien sich in helle verwandelten. Als er aber den vollen Sonnenschein durch die Natriumflamme auf den Spalt fallen liess, wurden die *D*-Linien dunkler, als sie ohne Natriumflamme gewesen. Indem er dann Drummond'sches Kalklicht durch letztere leitete, zeigten sich dunkle Linien an den Orten der Natriumlinien. Kirchhoff schloss daraus, dass die Natriumflamme eine Absorption auf die Strahlen ausübt, die sie selbst emittirt, und gelangte mit Hülfe theo-

[1]) Angström, Pogg. Ann. 94, 141 (1853); Foucault, Bull. Soc. philom. de Paris 1849; Ann. ch. phys. [3] 58, 476 (1860); Stokes, Phil. Mag. [4] 20, 20 (1860); Balfour-Stewart, Trans. Roy. Soc. Edinb. 1858. — [2]) Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861, S. 64.

retischer Betrachtungen zu dem wichtigen Satze, dass das Verhältniss des Emissionsvermögens und Absorptionsvermögens der Körper bei derselben Temperatur für dieselben das gleiche ist.

Das Absorptionsspectrum eines Körpers entspricht mithin einem von ihm unter gleichen Temperatur- und Molekularverhältnissen erzeugten Emissionsspectrum. Nachdem Kirchhoff und Bunsen dies für Natrium und andere leichtflüchtige Metalle nachgewiesen, haben Cornu [1]), Liveing und Dewar [2]), sowie Lockyer [3]) es an anderen Dämpfen, mit Einschluss derjenigen der am schwersten schmelzbaren Metalle, bestätigen können. Die von Kirchhoff klargelegte Entstehungsursache der Fraunhofer'schen Linien (siehe den Abschnitt über das Sonnenspectrum) ist damit endgültig erwiesen.

Wie bei den Emissionsspectren zeigen Gase und Dämpfe bei niedriger Temperatur Banden-, bei hoher Linienspectren; feste und flüssige Körper bewirken in der Regel continuirliche Absorption mehr oder weniger grosser Gebiete des Spectrums. Die Absorption macht es möglich, Körper bei Temperaturen, wo sie noch nicht leuchten, spectroskopisch zu untersuchen. In neuerer Zeit sind Einwendungen gegen die Begründung des Kirchhoff'schen Gesetzes erhoben. Eine Grundlage desselben ist, dass das Leuchten der Körper durch Temperaturerhöhung bewirkt wird. Dem gegenüber hat E. Wiedemann [4]) ausgeführt, dass ausser dieser normalen Lichtentwickelung ein Leuchten ohne Temperatursteigerung durch andere Ursachen hervorgerufen werden kann. Für diese Art der Lichterregung (Luminescenz) gilt nach E. Wiedemann der Kirchhoff'sche Satz nicht. Ausserdem haben Hittorf [5]) und W. v. Siemens [6]) bei bis auf etwa 2000° erhitzten Gasen keine Lichtemission wahrgenommen, und wird sogar von Pringsheim [7]) behauptet, dass Dämpfe nicht durch Temperatursteigerung, sondern nur durch chemische Processe zum Leuchten gebracht werden. Inwieweit diese Einwände begründet sind, lässt sich zur Zeit nicht feststellen. Auch braucht der Kirchhoff'sche Satz, der sich auch aus der Theorie der Resonanz beweisen lässt, darum nicht ungültig zu werden.

Ueber den Mechanismus der Lichtabsorption haben wir noch keine klare Vorstellung.

Einfluss des Aggregatzustandes und der Temperatur Die Absorptionsspectren werden meist bei niederen Temperaturen beobachtet und lassen daher den Einfluss der Molekularconstitution leicht wahrnehmen. So sind die Spectren des festen, des gelösten und

---

[1]) Cornu, Compt rend. 73, 332 (1871). — [2]) Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 28 ff. — [3]) Lockyer, Studien zur Spectralanalyse, Leipzig 1879. — [4]) E. Wiedemann, Wied. Ann. 34, 446 (1888). — [5]) Hittorf, Ebend. 7 (1879); 19 (1883). — [6]) Siemens, Ebend. 18 (1883). — [7]) Pringsheim, Ebend. 45 (1892).

des dampfförmigen Jods verschieden. Vom Joddampf ist wie beim Emissionsspectrum ein Banden- und ein Linienspectrum bekannt. Innerhalb derselben Spectralstufe bewirkt Temperatursteigerung eine Zunahme der Absorption.

Auf eine eigenthümliche Erscheinung hat Stenger[1]) aufmerksam gemacht. Während, wie H. W. Vogel[2]) gefunden, die auf Glasplatten verdunsteten Lösungen organischer Farbstoffe meist ein anderes Spectrum zeigen als die Lösungen, ändert sich das Spectrum der Lösungen nicht, wenn man sie mit Gelatine, Leim, Stärke, Gummi arabicum versetzt und dann erstarren lässt. Nach Stenger ist in der Gelatinelamelle die Molekularaggregation die gleiche wie in der Lösung, und daher auch der Charakter des Absorptionsspectrums übereinstimmend. Der Farbstoff in seiner gewöhnlichen festen Form ist dagegen aus complicirteren Aggregaten aufgebaut und zeigt daher ein anderes Absorptionsspectrum.

Einfluss des Lösungsmittels. Wenn man Körper, deren Lösung ein aus Streifen bestehendes Absorptionsspectrum liefert, in verschiedenen Lösungsmitteln löst, so zeigen deren Spectren zu einander vielfach kleine Verschiebungen, welche eine Gesetzmässigkeit aufweisen. In Bezug darauf hat Kundt[3]) die Regel aufgestellt, dass, wo ein farbloses Lösungsmittel ein beträchtlich grösseres Brechungs- und Dispersionsvermögen besitzt als ein anderes, die Absorptionsstreifen bei Benutzung des ersteren Mittels näher zum rothen Ende des Spectrums liegen, als bei Anwendung des zweiten. Dieser Satz trifft aber nicht in allen Fällen zu. Zur Erklärung der Ausnahmen hat Stenger[4]) ausgeführt, dass das Spectrum eines Körpers nicht nur von seiner chemischen Zusammensetzung, sondern auch davon abhängt, ob die physikalisch in Betracht kommende Molekel sich mit der chemischen deckt oder ein Multiplum davon ist. Gerade in Lösungen ist wahrscheinlich der kleinste physikalische Theil noch ein Aggregat mehrerer Molekeln im chemischen Sinne. Die Kundt'sche Regel trifft bei allen Lösungsmitteln zu, wo die physikalische Molekel der chemischen gleich ist.

Der Einfluss der optischen Dicke[5]) (Concentration und Schichtdicke) ist bereits auf S. 50 besprochen; er folgt den von Bunsen und Roscoe[6]) experimentell bewiesenen Gesetzen, wonach 1. die Menge der Strahlen, welche in einer Schicht von endlicher Dicke absorbirt wird, der Menge (Intensität) der auffallenden Strahlen proportional ist, und 2. die absorbirte Lichtmenge von der Dichtigkeit des auslöschenden Mediums abhängt. Aus diesen Sätzen leitet sich der Absorptions-

---

[1]) Stenger, Wiedm. Ann. 33, 583 (1888). — [2]) H. W. Vogel, Ber. Berl. Akad. 1878, S. 409. — [3]) Kundt, Pogg. Ann. Jubelbd., S. 615 (1874); Wied. Ann. 4, 34 (1878). — [4]) Stenger, Wied. Ann. 33, 577 (1888). — [5]) Vergl. auch O. Knoblauch, Ebend. 43, 738 (1891). — [6]) Bunsen u. Roscoe, Pogg. Ann. 101, 235 (1857).

coëfficient ab, welcher das Verhältniss des durch die Schichtendecke 1 durchgelassenen Lichtes zur Intensität des auffallenden Lichtes darstellt, oder der von Bunsen und Roscoe zur bequemeren Berechnung der Concentration aus der Absorption eingeführte Begriff des Extinctionscoëfficienten, d. i. der reciproke Werth derjenigen Schichtendicke, welche das Licht durchlaufen muss, um bis auf ein Zehntel seiner ursprünglichen Stärke ausgelöscht zu werden.

Fluorescenz und Absorption. Im Zusammenhange mit der Absorption des Lichtes stehen die fluorescirenden und phosphorescirenden Körper. Eine Anzahl von Stoffen hat die Eigenschaft, unter dem Einflusse des Lichtes selbstleuchtend zu werden. Leuchten sie nur, so lange die Bestrahlung andauert, so bezeichnet man die Erscheinung mit Fluorescenz, leuchten sie auch nach Aufhören der Belichtung, so nennt man dies Phosphorescenz. Fluorescenz ist bisher nur an Flüssigkeiten, Phosphorescenz nur an festen Körpern beobachtet worden. Die Strahlen, welche diese Erscheinungen hervorrufen, werden, wie das Princip von der Erhaltung der Energie erklärt, absorbirt. Die fluorescirenden Körper liefern dem entsprechend Absorptionsspectren, und da sie die ultravioletten Strahlen in einem gewissen Umfange absorbiren, so fluoresciren sie sämmtlich im Ultraviolett.

III. Beziehungen zwischen den Linien eines Elementes.

Wenn man die Spectren der verschiedenen Elemente beobachtet, so weisen einzelne eine über das ganze Spectrum zerstreute Anzahl von Linien, andere hingegen wenige Linien oder Liniengruppen auf, die so regelmässig liegen, dass sich der Gedanke einer gesetzmässigen Anordnung der Linien unwillkürlich aufdrängt. Man hat frühzeitig versucht, diese Beziehungen aufzufinden, und glaubte ein in der Akustik geltendes Gesetz auf die Lichtschwingungen der Molekel anwenden zu können. Schwingt eine Saite als Ganzes, so giebt sie ihren Grundton, schwingt sie in Unterabtheilungen, so giebt sie die zum Grundton gehörigen harmonischen Obertöne, deren Schwingungszahlen 2, 3, 4 .... mal so gross sind, wie diejenigen des Grundtones. Wäre dieses Gesetz auch in der Optik gültig, so müssten sich die Wellenlängen verschiedener Spectrallinien wie ganze Zahlen zu einander verhalten.

Die ersten Versuche, solche Regelmässigkeiten aufzufinden, rühren von Lecoq de Boisbaudran[1]) her und betrafen das Stickstoffspectrum; seine Schlüsse gründeten sich aber auf nicht hinreichend genaue Wellenlängenbestimmungen und wurden von Thalén nicht bestätigt. Erfolgreicher war Stoney[2]), der feststellte, dass die Wasserstofflinien C, F und h im Verhältniss 20 : 27 : 32 stehen. Dann

---

[1]) Lecoq de Boisbaudran, Compt. rend. 69, 694 (1869). — [2]) Stoney, Phil. Mag. [4] 41, 291 (1871).

haben auch Stoney und Reynolds[1]), Soret[2]) und Andere auf solche harmonische Verhältnisse hingewiesen, bis Schuster[3]) auf Grund eingehender Untersuchungen die Unhaltbarkeit der Theorie nachwies. Er zeigte, dass auch, wenn gar kein Zusammenhang zwischen den Wellenlängen existirt, in jedem linienreichen Spectrum der Zufall harmonische Beziehungen herbeiführen wird, und dass die durch mannigfache Thatsachen angedeuteten Beziehungen der Wellenlängen zu einander einem noch unentdeckten Gesetze folgen.

Nachdem diese Frage mehrere Jahre geruht hatte, trat Balmer[4]) mit einer Formel hervor, welche mit wunderbarer Genauigkeit die Wellenlängen der Wasserstofflinien im Linienspectrum ergab. Die Gleichung lautet $\lambda = A \frac{n^2}{n^2 - 4}$, wobei für n die Zahlen von 3 bis 15, und für die Constante A unter Zugrundelegung der Cornu'schen Messungen 3645,42 A.-E. oder unter Berücksichtigung der genaueren Bestimmungen von Ames 3647,20 A.-E. einzusetzen ist. Die Uebereinstimmung der berechneten und beobachteten Werthe ist eine so grosse, dass die Differenzen innerhalb der bei Ames möglicherweise 0,1 bis 0,3 A.-E. betragenden Beobachtungsfehler liegen.

Gleichzeitig mit Balmer theilte Cornu[5]) mit, dass die Wellenlängen der leicht umkehrbaren Linien von Aluminium und Thallium in gesetzmässiger Beziehung zu denen des Wasserstoffs stehen, und einige Jahre später hat Deslandres[6]) eine Formel für die Linien gegeben, welche die Banden mehrerer Elemente bilden.

So stand die Frage, als Kayser und Runge[7]) im Jahre 1887 ihre Untersuchungen begannen. Es gelang ihnen, eine Formel aufzufinden, welche für eine ganze Anzahl von Elementen Serien darstellt, und der gegenüber die Balmer'sche Formel für Wasserstoff als Specialfall erscheint. Unter Serien werden zusammengehörige Linien verstanden, wie solche in besonders auffallender Weise die Alkalien und alkalischen Erden aufweisen, worauf schon von Liveing und Dewar[8]) vor der Entdeckung Balmer's unter Hervorhebung der Thatsache aufmerksam gemacht war, dass der Abstand von zwei auf einander folgenden Linien mit Abnahme der Wellenlänge kleiner und kleiner wird, und die Linien sich einer Grenze asymptotisch nähern. Eine solche Reihe ähnlicher Gruppen nannten Liveing und Dewar

---

[1]) Stoney u. Reynolds, Phil. Mag. [4] 42, 41 (1871). — [2]) Soret, Ebend. [4] 42 464. — [3]) Schuster, Brit. Assoc. Report 1880; Proc. Roy. Soc. 31, 337 (1881). — [4]) Balmer, Wied. Ann. 25, 80 (1885). — [5]) Cornu, Compt. rend. 100, 1181 (1885). — [6]) Deslandres, Ebend. 103, 375 (1886); 104, 972 (1887). — [7]) Kayser u. Runge, Ueber die Spectren der Elemente; Abhandl. Berl. Akad. 1888, 1889, 1890, 1891, 1892, 1893; Wied. Ann. 52, 114 (1894); Runge, Brit. Assoc. Rep. 1888, p. 576; Kayser, Chem.-Ztg. 16, 533 (1892); Encyklopädie der Naturw. 32 (Winkelmann's Handb. d. Physik), Breslau 1894, S. 429. — [8]) Liveing u. Dewar, Phil. Trans. 1883, p. 213 und auch schon zuvor.

eine harmonische Serie [1]). Indem Kayser und Runge statt der Wellenlängen ihr Reciprokes, d. h. eine der Schwingungszahl proportionale Grösse (wenn man den Brechungsexponenten der Luft als constant betrachtet) einführten, wurde die Balmer'sche Formel in $\frac{1}{\lambda} = A + Bn^{-2}$ verwandelt und dann zu

$$\frac{1}{\lambda} = A + Bn^{-2} + Cn^{-4}$$

erweitert. Dieser Ausdruck giebt nur eine Näherungsformel. Wahrscheinlich ist die Schwingungszahl nur eine Function von n, welche sich nach negativen Potenzen in eine stark convergirende Reihe entwickeln lässt. Von dieser Reihe genügen die ersten drei Glieder, um ihren Werth mit bemerkenswerther Genauigkeit darzustellen. Es kam nun Kayser und Runge darauf an, zu erfahren, ob die Formeln auch bei genaueren Messungen ihre Gültigkeit behalten würden, ob auch die weiteren. durch die Formel gelieferten Wellenlängen zu beobachten wären, ob in allen Elementen die Linien sich zu Serien ordnen liessen, die alle Linien aufnehmen, endlich, ob zwischen den Constanten der Formeln verschiedener Elemente sich Beziehungen auffinden lassen würden.

Da diese Fragen an der Hand der älteren Wellenlängenmessungen, welche theils an Genauigkeit zu wünschen übrig liessen, theils den ultravioletten Theil nicht einschlossen, nicht zu entscheiden waren, so unterzogen sich Kayser und Runge der Aufgabe, die Spectra der Elemente auf das Genaueste festzustellen. Von den Spectren der Elemente der drei ersten Mendelejeff'schen Gruppen weisen die meisten Serien auf, welche sich durch obige Formel darstellen lassen. Bei Natrium, Kalium, Rubidium, Cäsium, Kupfer, Silber, Aluminium, Indium und Thallium finden sich je zwei Serien, für welche B und C gleich und nur A verschieden ist; zwei derartige Serien lassen sich daher als eine Serie von Linienpaaren auffassen, deren Paare gleiche Schwingungsdifferenz haben. Wahrscheinlich besitzen alle Elemente zwei derartige Serien von Paaren. Die erste Serie enthält sehr starke, unscharfe Linien und wird erste Nebenserie genannt, die zweite Serie enthält schwächere, aber schärfere, höchstens einseitig nach Roth hin verbreiterte Linien; sie führt die Bezeichnung zweite Nebenserie. Im Spectrum von Rubidium und Cäsium wurde die zweite Nebenserie nicht beobachtet, und bei Lithium, das beide Serien aufweist, bestehen sie nicht aus Paaren, sondern aus Linien. Die Schwingungsdifferenz ist bei beiden Serien in jedem Element fast identisch und steht mit seinem Atomgewicht in Beziehung.

Die Alkalien besitzen noch eine dritte Serie, welche die stärksten, am leichtesten umkehrbaren Linien des ganzen Spectrums enthält; sie

---

[1]) Liveing u. Dewar, Phil. Trans. 1884.

ist Hauptserie genannt. Beim Lithium besteht sie aus einfachen Linien, bei den übrigen Alkalien aus Linienpaaren, und zwar beim Natrium aus engen Paaren, bei den anderen in der Reihenfolge des Atomgewichtes aus weiteren und weiteren Paaren, während zu gleicher Zeit die ganzen Serien nach dem weniger brechbaren Ende des Spectrums rücken. In allen Paaren ist die Linie von kleinerer Wellenlänge die stärkere, was für die *D*-Linie bekannt war. Innerhalb einer jeden Hauptserie sind die Differenzen der Schwingungszahlen für die Paare ungefähr den vierten Potenzen der Ordnungszahlen umgekehrt proportional. Die grössten positiven Werthe, welche die Formeln für die Wellenlänge bei allen überhaupt beobachteten Serien ergeben, entsprechen der Ordnungszahl 3. Diese Linien für $n = 3$ sind den Grundtönen zu vergleichen, weil sie die längste mögliche Welle repräsentiren, genau so, wie es die Balmer'sche Formel für Wasserstoff anzeigt.

Die Spectren von Kupfer, Silber und Gold zeigen keine so grosse Regelmässigkeit, wie die der Alkalien, in denen alle Linien nach einem Plane angeordnet erscheinen. Durch Analogie mit den in anderen Spectren beobachteten Gesetzmässigkeiten liessen sich indessen für Kupfer und Silber beide Nebenserien von Paaren mit constanter Schwingungsdifferenz nachweisen. Beim Golde gelang dieses nicht, vielleicht aus dem Grunde, dass mit zunehmendem Atomgewicht die Serien schwächer werden.

Von den Erdalkalien besitzen Magnesium, Calcium und Strontium Spectren mit zwei Nebenserien, die aber nicht durch Linienpaare, sondern durch Triplets mit constanter Schwingungsdifferenz gebildet werden. Mit wachsendem Atomgewicht rücken die Serien nach dem rothen Ende des Spectrums und werden schwächer. Dies erklärt vielleicht, dass beim letzten Elemente dieser Gruppe, Barium, keine Serien gefunden wurden.

Die Spectra von Zink, Cadmium und Quecksilber weisen wieder zwei Nebenserien von Triplets auf, doch wird kaum die Hälfte der Linien durch die Serien gebildet. Aluminium, Indium und Thallium zeigen sämmtlich sehr deutlich eine gesetzmässige Anordnung, die sich auf den grössten Theil der Linien bezieht.

Von den Elementen, welche die vierte und fünfte Colonne des Mendelejeff'schen Systems bilden, sind nur wenige den Untersuchungen Kayser und Runge's über den gesetzmässigen Bau der Spectren zugänglich. Von der vierten Colonne konnten nur Zinn und Blei, von der fünften Arsen, Antimon und Wismuth untersucht werden. Hierbei liessen sich keine solchen Gesetzmässigkeiten entdecken, wie sie sich bei den ersten drei Gruppen des periodischen Systems finden. Es weist zwar ein jedes der Spectren auch die Eigenthümlichkeit auf, dass eine grössere Gruppe von Linien sich mehrmals wiederholt in der Art, dass man die Schwingungszahlen der einen Liniengruppe aus denen der anderen findet, indem man eine Constante hinzufügt. Aber

die Linien ordnen sich nicht in Serien, wie die der anderen untersuchten Spectren. Auch giebt das Aussehen der Linien keinen Anhalt, wie sie etwa einander entsprechen.

Es kann nicht überraschen, dass nicht alle Linien eines Spectrums in Serien unterzubringen sind. Um die verschiedenen Elemente unter analogen Verhältnissen zu haben, dürften sie nicht alle bei derselben Temperatur untersucht werden. Ohne die Temperaturen zu kennen, bei denen sich die Elemente in analogen Verhältnissen befinden, darf man annehmen, dass für Elemente mit hoher Schmelz- und Siedetemperatur eine weit höhere Flammentemperatur anzuwenden ist, als für solche mit niedrigem Schmelzpunkt. Wenn daher eine Bogenlampe mit einer etwa 3000^0 bis 4000^0 betragenden Temperatur bei den leicht schmelzenden Alkalien die Serien vollständig zum Vorschein bringen lässt, so liegt der Schluss nahe, dass für andere Elemente die Serien desto weniger charakteristisch werden müssen, je höher der Schmelzpunkt liegt.

Unabhängig von Kayser und Runge und gleichzeitig ist Rydberg [1]) zu ganz ähnlichen Anschauungen über den Bau der Linienspectren gelangt. Bei der Untersuchung der Gruppen I, II, III des periodischen Systems ist er, ebenfalls unter Benutzung der Schwingungszahlen statt der Wellenlängen, zu folgenden Schlüssen gekommen. Die „langen" Linien der Spectren bilden Linienpaare oder Triplets, ausgezeichnet durch die Eigenschaft, dass die Schwingungszahlen der Componenten sich bei jedem Elemente durch constante Differenzen (v) unterscheiden. Der Werth der letzteren wächst in jeder Gruppe von Elementen in etwas rascherem Verhältniss, als das Quadrat des Atomgewichtes.

Die Elemente der Gruppen I und III (ungerades Sättigungsvermögen) haben Triplets.

Die Componenten der Doppellinien bilden Serien, deren Glieder Functionen der auf einander folgenden ganzen Zahlen sind. Jede Serie kann annäherungsweise durch eine Gleichung von der Form

$$n = n_0 - \frac{N_0}{(m + \mu)^2}$$

ausgedrückt werden, wo n die Wellenzahl ist, m eine beliebige ganze Zahl (die Ordnungszahl des Gliedes), $N_0 = 109721{,}6$ eine für alle Reihen und alle Elemente gemeinschaftliche Constante, welche sich aus der Balmer'schen Formel ergiebt, n_0 und μ Constanten, die den speciellen Reihen eigen sind; n_0 bezeichnet die Grenze, der sich die Schwingungszahl n nähert, wo m unendlich wird.

---

1) J. R. Rydberg, Compt. rend. **110**, 394 (1890); Zeitschr. physikal. Chem. 5, 227 (1890); Svenska Vetenskap. Akad. Handlingar Stockholm 23, Nr. 11 (1890); Wied. Ann. 50, 629 (1893); 52, 119 (1894).

Rydberg unterscheidet, wie Kayser und Runge, dreierlei Serien: diffuse Reihen, scharfe Reihen und Hauptreihen; letztere fand er nur bei den Alkalien. Die beiden ersten Serien werden von Linienpaaren oder von Triplets gebildet, so dass man bei den Elementen der Gruppe I und III vier verschiedene Reihen dieser beiden Arten, bei den Elementen der Gruppe II deren sechs hat. Rydberg nennt sie erste, zweite, dritte diffuse oder scharfe Serie. Die Linien der ersten Reihe jeder Art sind die stärksten und am wenigsten brechbaren.

Die Hauptreihen enthalten die stärksten Linien des Spectrums (in der Gruppe I), demnächst kommen die diffusen Serien, dann die scharfen, welche die lichtschwächsten sind. In den einzelnen Gruppen sowohl, wie in den einzelnen Reihen nimmt die Lichtstärke mit steigender Ordnungsnummer ab.

Die verschiedenen Serien eines Grundstoffes sind unter sich durch Beziehungen verbunden, welche zeigen, dass sie sämmtlich einem einzigen System von Schwingungen angehören. Die Reihen derselben Gruppe (diffus oder scharf) haben denselben Werth von μ; die Differenz der n_0 Werthe ist gleich v (oder v_1 und v_2). Die Reihen derselben Ordnung (erste, zweite, dritte) haben in den verschiedenen Gruppen denselben Werth n_0, und unterscheiden sich durch die Werthe von μ.

Die Wellenlängen und Schwingungszahlen der sich entsprechenden Linien, wie auch die Werthe der Constanten v, n_0, μ der sich entsprechenden Reihen bei den verschiedenen Grundstoffen sind periodische Functionen des Atomgewichtes. Die periodische Veränderlichkeit der Constanten erlaubt, das Spectrum eines Elementes durch Interpolation zu berechnen, wenn die Spectren der benachbarten Elemente des periodischen Systems bekannt sind.

Die Untersuchungen Rydberg's haben die Gründe vermehrt, welche für ein einziges System von Schwingungen, sowie für die Möglichkeit sprechen, alle Linien eines Spectrums in eine einzige Formel zusammenzufassen, im Gegensatze zur Ansicht von einer Mischung von Spectren, welche Molekülen verschiedener Temperaturen gehören würden. Rydberg erachtet es für wahrscheinlich, dass es für jeden Grundstoff nur ein einziges Spectrum giebt, und dass die Intensitäten der Serien und der speciellen Linien mit der Temperatur und der Dichte des glühenden Gases in ähnlicher Weise wie die Obertöne eines Klanges wechseln können.

Auch bei den Bandenspectren, deren Anordnung allerdings dies eher vermuthen lässt als die Linienspectra, sind Gesetzmässigkeiten erkannt worden. Lecoq de Boisbaudran[1]), sowie Thalén[2]) hatten Regelmässigkeiten festgestellt, aus denen indessen Gesetze nicht abzu-

---

[1]) Lecoq de Boisbaudran, Compt. rend. 69 (1869). — [2]) Thalén, Svenska Vetensk. Akad. Handl. 8 (1869).

leiten waren. Solche sind von Deslandres [1]) in folgender Weise formulirt worden.

Die Linien ein und derselben Bande bilden Serien gleichartiger Linien. Diese Reihen sind an einander gekoppelt, derart, dass in jeder Serie der Abstand zweier auf einander folgenden Linien ungefähr eine arithmetische Progression bildet.

Bezeichnet man die Kante einer Bande mit der Ordnungszahl 0 und die folgenden Linien mit den auf einander folgenden Zahlen 1, 2, 3 .... n, so lässt sich die Schwingungszahl der $n$ten Linie finden durch die Formel

$$\frac{1}{\lambda_n} = a + b_n^2,$$

wo a die Schwingungszahl der Kante, b die Differenz zwischen der Schwingungszahl der ersten Linie und der Kante ist.

3. Die verschiedenen Banden eines Spectrums sind derart verbunden, dass die ersten, zweiten u. s. w. Kanten aller Banden einer Gleichung von ähnlicher Form entsprechen, wie die Linien einer Serie:

$$\frac{1}{\lambda} = A + B + C_n^2,$$

wo A, B, C Constante sind und für n auf einander folgende Werthe der Zahlenreihe einzusetzen sind.

Die volle Gültigkeit dieser Sätze ist von Kayser und Runge [2]) angezweifelt, aber von Deslandres aufrecht erhalten.

Es bleibt noch zu erwähnen, dass Lecoq de Boisbaudran [3]), Stoney [4]), Julius [5]), v. Kövesligethy [6]) theoretische Betrachtung über die Entstehung der Linien, Linienpaare u. s. w. angestellt haben.

IV. Beziehungen zwischen den Spectren verschiedener Elemente.

Ueber diese Beziehungen hat zuerst Lecoq de Boisbaudran [7]) Beobachtungen veröffentlicht, indem er 1869 auf den gleichartigen Bau der Spectren von Kalium, Rubidium und Cäsium aufmerksam machte und aus diesen Spectren einander ähnliche Linien auswählte, die er homolog nannte. Aus diesen Untersuchungen glaubte er schliessen zu dürfen, was im Laufe der Zeit durch exactere Beobachtungen be-

---

[1]) Deslandres, Compt. rend. 103, 375 (1886); 104, 972 (1887); Ann. ch. phys. [6] 15 (1888); J. de Phys. [2] 10, 276 (1890). — [2]) Kayser und Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1889. — [3]) Lecoq de Boisbaudran, Compt. rend. 69, 445, 606, 657 (1869). — [4]) Stoney, Phil. Mag. [4] 41 (1871); Trans. Dubl. Soc. [2] 4 (1891); Phil. Mag. [5] 33 (1892). — [5]) Julius, Ann. de l'école polyt. de Delft 5 (1889). — [6]) v. Kövesligethy, Theor. Spectralanalyse, Halle 1890. — [7]) Lecoq de Boisbaudran, Compt. rend. 69, 610 (1889).

stätigt wurde, dass die Spectra der Alkalien und alkalischen Erden mit wachsendem Atomgewicht nach dem Roth rücken.

Später hat Lecoq de Boisbaudran[1]) diese homologen Linien zur richtigen Berechnung der damals noch nicht bestimmten Atomgewichte von Gallium und Germanium benutzt. Es geschah dieses mit Hülfe des von ihm aufgestellten Satzes, dass innerhalb der Gruppen des periodischen Systems die Variation des Wachsens der Atomgewichte der Variation des Wachsens der Wellenlängen homologer Linien proportional ist. Das nachstehende Beispiel zeigt, wie die Berechnung ausgeführt wird.

	Atomgewichte	Differenz	Diff.	Variation	Mittlere Wellenlänge zweier Linien	Differenz	Variation
Si . .	28,0				4010	443	
Ge . .	n	90,0 zwischen Si u. Sn			4453		$\frac{40,51}{100}$
Sn . .	118,0				5077	624	
Al . .	27,5	42,4			3952	149	
Ga . .	69,9	43,6	1,2	$\frac{1,2}{42,4} = \frac{2,8302}{100}$ [2])	4101	205	$\frac{37,584}{100}$
In . .	113,5				4306		

Setzt man $37,584 : 2,8302 = 40,51 : x$, so ist x die Variation für die Gruppe (Si, Ge, Sn) $= 3,051$ (Proc.). Es ist somit die Zunahme des Atomgewichts von Si zu Ge $y = 90/2,0351 = 44,32$, mithin das Atomgewicht des Germaniums $n = 72,32$.

Gegen dieses Gesetz macht Kayser[3]) geltend, dass, wenn auch vielleicht ein richtiger Kern darin steckt, es doch zur Zeit nicht brauchbar ist. Es erfordert eine grössere Genauigkeit der in Rechnung gestellten Atomgewichte, als in vielen Fällen bisher erreicht wurde. In Folge dessen konnte Ames[4]) die Lecoq de Boisbaudran'sche Hypothese bei Magnesium, Zink und Cadmium nicht bestätigen, obschon er genau homologe Linien zu Grunde legen konnte. Wenn die Rechnung bei Gallium und Germanium so gut stimmte, so wird der Zufall dazu beigetragen haben, zumal die Auswahl der homologen Linien nicht frei von Willkür war.

Ausser Lecoq de Boisbaudran haben noch Ditte[5]), Troost und Hautefeuille[6]), Ciamician[7]), Hartley[8]), Ames[9]) und Grünwald[10]) Untersuchungen über die Verwandtschaft der Spectren ver-

---

[1]) Lecoq de Boisbaudran, Compt. rend. 86, 943; 102, 1291 (1886); Ber. 19, 479 c. — [2]) d. h. man muss 2,8302 Proc. der Differenz 42,4 hinzufügen, um 43,06 zu erhalten. — [3]) Kayser, Spectralanalyse in Encyklopädie der Naturw. 32 (Winkelmann, Physik), Breslau 1894, S. 440. — [4]) Ames, Phil. Mag. [5] 30 (1890). — [5]) Ditte, Compt. rend. 72, 620 (1871). — [6]) Troost u. Hautefeuille, Ebend. 72, 620 (1871). — [7]) Ciamician, Wien. Ber. 78, 767 (1878); 82 [2] (1880). — [8]) Hartley, Chem. Soc. J. 1882, p. 84, 1883, p. 390. — [9]) Ames, Phil. Mag. [5] 30, 33 (1890). — [10]) Grünwald, Astr. Nachr. 117 (1887); Wien. Ber. 96 [2] (1887); 97 [2] (1889); 98 [2] (1880); Wien. Anz. 1890; vergl. darüber Ames, Nature 38 (1888); Kayser, Chem.-

schiedener Elemente angestellt, von denen indessen nur diejenigen von Ames im Laufe der Zeit ihren Platz behauptet haben. Er maass die Wellenlängen der Triplets im Spectrum von Zink und Cadmium und berechnete die Schwingungsdifferenzen der dritten Linien der Triplets, welche von Triplet zu Triplet kleiner werden, und für Zink und Cadmium fast genau übereinstimmen. Sie betragen für die stärkere diffuse Reihe im Zink 581, 263, 141, 84, im Cadmium 587, 264, 84, wodurch sich wirklich homologe Linien ergeben.

Das meiste Licht über die Beziehungen der Spectren verschiedener Elemente haben indessen die Arbeiten von Kayser und Runge und von Rydberg gebracht, welche den combinirten Weg der Rechnung und der Beobachtung eingeschlagen haben, wobei die Erstgenannten sich auf ihre exacten Neumessungen der Spectrallinien stützen konnten. Aus den oben erwähnten Gesetzen über den Zusammenhang der Linien eines Elementes ergeben sich zugleich die Beziehungen zwischen den Spectren der verschiedenen Grundstoffe. In den gleichartig gebauten Spectren sind die Linien mit gleicher Ordnungszahl die homologen. Soweit die Arbeiten der genannten Forscher bis jetzt gediehen sind, zeigen sie, dass bei den ersten drei Gruppen des periodischen Systems die Spectren die gleichen Gruppen bilden, wie die Elemente selbst. Auch die Unterabtheilungen treten klar hervor, so dass sich folgende Gruppen unterscheiden lassen:

1. Lithium, Natrium, Kalium, Rubidium, Cäsium;
2. Kupfer, Silber;
3. Magnesium, Calcium, Strontium;
4. Zink, Cadmium, Quecksilber;
5. Aluminium, Indium, Thallium.

Innerhalb einer jeden solchen Abtheilung rückt das Spectrum mit wachsendem Atomgewicht nach dem rothen Ende; von einer Gruppe zur anderen indessen erheblich nach dem Violett. Fig. 40 (a. f. S.) enthält nach Kayser und Runge eine schematische Zeichnung dieser Spectren nach dem Maassstabe der Schwingungszahlen. Der besseren Uebersicht wegen sind von den Doublets und Triplets immer nur die ersten Linien gezeichnet. Die den Linien vorgesetzten Zahlen bezeichnen ihre Ordnungsnummer. Nur wirklich beobachtete Linien sind in der Tabelle enthalten.

Die Beziehungen der Spectren und der Atomgewichte zu einander sind bereits oben erörtert; sie lassen sich zu dem Satze zusammenfassen, dass die Weite der Paare und der Triplets, gemessen durch die Schwingungsdifferenz, angenähert dem Quadrat des Atomgewichtes proportional ist.

Ztg. 13 (1889); Grünwald, ebend. 14 (1890); Kayser, ebend. 14, 1890; Runge, Phil. Mag. [5] 30, 1890.

Fig. 40.

Specieller Theil.

Für jegliche Anwendung der Spectralanalyse ist die genaue Kenntniss der Spectra von höchster Wichtigkeit. Als Maassstab benutzt man allgemein die Wellenlänge, gemessen in Luft bei mittlerer Temperatur und 760 mm Druck, und ausgedrückt in Angström'schen Einheiten (A.-E.) oder Zehntel $\mu\mu$ (s. S. 8).

Bis vor nicht langer Zeit wurden alle Angaben auf die Angström'sche Zeichnung des Sonnenspectrums (Spectre normal du Soleil) und auf seine Wellenlängenbestimmungen bezogen [1]). Diese Scala, welche 20 Jahre hindurch allen Spectralbeobachtungen als Grundlage diente, erwies sich nach dem Tode Angström's als ungenau. Wie Thalén [2]) 1884 nachwies, sind Angström's Zahlen in Folge einer fehlerhaften Bestimmung des den Messungen zu Grunde gelegten Meterstabes etwas zu klein ausgefallen. Seitdem sind neue Bestimmungen der absoluten Wellenlänge von Müller und Kempf [3]), von Kurlbaum [4]), Peirce [5]) und Bell [6]) gemacht worden. Von diesen stimmen die definitiven Messungen der D_1-Linie von Peirce und von Bell genau, und diejenigen von Müller und Kempf, deren Messungen dem Potsdamer System zu Grunde liegen, sehr nahe überein. Von dem Gedanken geleitet, dass für die Spectroskopie relative Werthe wichtiger sind, als absolute, hat Rowland aus den verschiedenen Messungen den Durchschnitt gezogen:

Genauigkeitswerth	Beobachter	D_1
1	Angström, von Thalén corr.	5895,81
2	Müller und Kempf.	5896,25
2	Kurlbaum	5895,90
5	Peirce	5896,20
10	Bell	5896,20
	Mittel:	5896,156

Diesen Werth hat Rowland [7]) zur Grundlage seines Sonnenatlas und seiner im Wege der Coincidenzmethode gewonnenen Normalen (standard wave-lengths) gemacht. Da diese eine bis dahin unerreichte Genauigkeit (0,01 A.-E.) aufweisen, so wird die Rowland'sche Scala allen neueren Messungen zu Grunde gelegt.

---

[1]) Angström, Recherches sur le spectre du soleil, Upsala 1868. — [2]) Thalén, Sur le Spectre de fer. Nova Acta Soc. Sc. Upsala [3] 1884. — [3]) Müller u. Kempf, Publicat. des Astrophysikal. Obs. zu Potsdam 5, 1886. — [4]) Kurlbaum, Wied. Ann. 33, 159, 381 (1888). — [5]) Peirce, Sillim. Journ. [3] 18, 51. — Bell, Phil. Mag. [5] 25, 245, 350 (1888). — [7]) Rowland, Astronomy and Astrophysics 12, 321 (1893); Phil. Mag. [5] 36, 49 (1894). Ein Verzeichniss der Rowland'schen Normalen findet sich weiter unten bei dem Abschnitt Sonne.

Die im Folgenden mitgetheilten Wellenlängen der Spectrallinien sind sämmtlich auf das Rowland'sche System bezogen. Dies machte eine Umrechnung der vor 1889 veröffentlichten und einiger anderer Messungen erforderlich, wofür die folgende Tabelle von Watts[1]),

Correction-Tabelle,

um Angström's und Cornu's Zahlen auf die Rowland'sche Maasseinheit $D_1 = 5896{,}156$ zu reduciren.

Wellenlänge	Corr.	Wellenlänge	Corr.	Wellenlänge	Corr.
Ueber 6930	+ 1,7	Von 5540 bis 5485	+ 1,0	Von 4060 bis 4040	+ 0,6
Von 6930 bis 6880	1,6	„ 5485 „ 5435	0,9	„ 4040 „ 3850	0,7
„ 6880 „ 6820	1,5	„ 5435 „ 5350	1,0	„ 3850 „ 3730	0,6
„ 6820 „ 6800	1,4	„ 5350 „ 5335	0,9	„ 3730 „ 3720	0,5
„ 6800 „ 6765	1,3	„ 5335 „ 5325	1,0	„ 3720 „ 3660	0,4
„ 6765 „ 6720	1,2	„ 5325 „ 5300	0,9	„ 3660 „ 3640	0,8
„ 6720 „ 6660	1,1	„ 5300 „ 5175	1,0	„ 3640 „ 3620	0,6
„ 6660 „ 6230	1,0	„ 5175 „ 5150	0,9	„ 3620 „ 3530	0,8
„ 6230 „ 6180	0,9	„ 5150 „ 4990	0,8	„ 3530 „ 3480	0,6
„ 6180 „ 6155	1,0	„ 4990 „ 4970	0,9	„ 3480 „ 3470	0,8
„ 6155 „ 6135	1,1	„ 4970 „ 4935	1,0	„ 3470 „ 3440	0,7
„ 6135 „ 6130	1,0	„ 4935 „ 4865	0,9	„ 3440 „ 3420	1,1
„ 6130 „ 6110	0,9	„ 4865 „ 4740	1,0	„ 3420 „ 3360	1,7
„ 6110 „ 6080	1,0	„ 4740 „ 4650	0,9	„ 3360 „ 3330	2,5
„ 6080 „ 6060	1,1	„ 4650 „ 4470	0,8	„ 3330 „ 3290	2,2
„ 6060 „ 6000	1,0	„ 4470 „ 4380	0,7	„ 3290 „ 3280	2,0
„ 6000 „ 5970	0,9	„ 4380 „ 4170	0,6	„ 3280 „ 3240	1,9
„ 5970 „ 5810	1,0	„ 4170 „ 4130	0,7	„ 3240 „ 3220	1,8
„ 5810 „ 5780	0,9	„ 4130 „ 4100	0,8	„ 3220 „ 3190	0,8
„ 5780 „ 5610	1,0	„ 4100 „ 4060	0,7	„ 3190 „ 3160	0,4
„ 5610 „ 5540	1,1				

der die Atlanten der Sonne von Angström und Cornu mit dem Rowland'schen verglichen hat, benutzt wurde.

Es lässt sich nicht verkennen, dass eine solche Umrechnung von Messungen zu Bedenken Anlass geben kann, doch hätten Wellenlängenangaben nach zweierlei Scalen zu noch grösseren Uebelständen geführt, zumal sie oft genug bei ein und demselben Elemente vorgekommen wären. Ueberdies bietet die mitgetheilte Tabelle die Möglichkeit, die ursprünglichen Zahlen wieder zu berechnen. Ein allzu grosser Werth ist überhaupt den älteren Messungen nicht beizulegen; sie sind erheblich weniger genau, als die mit Benutzung der Gitter und der

[1]) Brit. Assoc. Report 1890, London 1891, p. 224.

Photographie gemachten Bestimmungen, wie sie Kayser und Runge, Liveing und Dewar, Hartley und Adeney, Hasselberg, Ames, Trowbridge und Andere ausgeführt haben.

Für die älteren Messungen und die darauf bezüglichen Literaturangaben diente vorwiegend Watt's[1]) Index of Spectra als Quelle, welches Werk ziemlich vollständig alle vor seinem Erscheinen veröffentlichten Messungen der Linienspectren enthält.

Die nachstehenden Zusammenstellungen enthalten für die gleichen Spectren oder Strecken derselben stets nur eine Reihe von Messungen, und zwar die neueste bezw. zuverlässigste. Auch war es mit Rücksicht auf den verfügbaren Raum geboten, nur die helleren Linien zu berücksichtigen. Im Allgemeinen wurden nur solche Linien aufgenommen, deren Helligkeit 1 bis 3 bei der in Deutschland gebräuchlichen Intensitätsscala beträgt, wo 1 die hellste und 6 die schwächste Intensität bedeutet, oder 6 bis 10 bei der in England üblichen Scala, wo 10 die grösste und 1 die geringste Helligkeit bezeichnet. Wo indessen auch minder helle Linien charakteristisch sind, wurden diese mit aufgenommen.

Die Beifügung von Intensitätszahlen, deren Schätzung an und für sich unsicher ist, und nur für die Vergleichung benachbarter Linien Werth hat, erschien nicht geboten, wo es sich um eine Auswahl der helleren Linien handelt, doch wurden die allerhellsten Linien durch etwas grösseren Druck kenntlich gemacht, um die Orientirung zu erleichtern.

Die Anordnung der Tabellen ist im Uebrigen die jetzt allgemein gebräuchliche; doppelte oder dreifache Linien wurden in runde Klammern gesetzt, Banden durch *b* bezeichnet; solche, welche nach Roth scharf begrenzt und nach Violett abschattirt sind, durch b^r, diejenigen, welche in umgekehrter Richtung verlaufen, durch b^v. Buchstaben oder Zahlen, welche sich in eckigen Klammern vor den Wellenlängen befinden, zeigen eine eingeführte Bezeichnung für die betreffenden Linien an. Die Messungen sind mit so vielen Decimalstellen wiedergegeben, als die erzielte Genauigkeit erfordert. Für die Classificirung der Linien nach Farben benutzt man die Listing'sche Eintheilung[2]):

....	bis	7230	Infraroth,	4920	bis	4550	Blau,
7230	„	6470	Roth,	4550	„	4240	Indigo,
6470	„	5850	Orange,	4240	„	3970	Violett,
5850	„	5750	Gelb,	3970	„	....	Ultraviolett.
5750	„	4920	Grün,				

Die Empfindlichkeit der Spectralreactionen ist von Kirchhoff und Bunsen für einige Flammenspectra und von Cappel für eine Reihe von Funkenspectren ermittelt worden. Nach Kirchhoff und Bunsen[3]) sind noch wahrnehmbar, wenn nicht in Gemischen vorhanden, von:

---

[1]) Watts, Index of Spectra, Manchester 1889. Fortsetzungen desselben erscheinen in den Reports of the British Association. — [2]) Listing, Pogg. Ann. **131**, 564 (1868). — [3]) Kirchhoff u. Bunsen, Pogg. Ann. **110**, 161 (1860).

Bariumchlorat . . .	$^1/_{1000}$ mg	Lithiumchlorat . . .	$^9/_{1\,000\,000}$ mg
Cäsiumchlorid . . .	$^1/_{20\,000}$ „	Natriumchlorat . .	$^1/_{3\,000\,000}$ „
Calciumchlorid . .	$^6/_{100\,000}$ „	Rubidiumchlorid . .	$^1/_{5000}$ „
Kaliumchlorat . . .	$^1/_{1000}$ „	Strontiumchlorid . .	$^6/_{100\,000}$ „

Mit Hülfe des Inductionsfunkens konnte Cappel[1]) noch beobachten von:

Barium .	$^1/_{900\,000}$ mg	Indium . .	$^1/_{90\,000}$ mg	Quecksilber	$^1/_{10\,000}$ mg
Blei . . .	$^1/_{20\,000}$ „	Kalium . .	$^1/_{400}$ „	Rubidium .	$^1/_{1000}$ „
Cadmium .	$^1/_{18\,000}$ „	Kobalt . .	$^1/_{15\,000}$ „	Silber . .	$^1/_{12\,000}$ „
Cäsium . .	$^1/_{4000}$ „	Kupfer . .	$^1/_{20\,000}$ „	Strontium .	$^1/_{100\,000\,000}$ „
Calcium .	$^1/_{10\,000\,000}$ „	Lithium .	$^1/_{40\,000\,000}$ „	Thallium .	$^1/_{80\,000\,000}$ „
Chrom . .	$^1/_{4\,000\,000}$ „	Magnesium	$^1/_{500\,000}$ „	Wismuth .	$^1/_{70\,000}$ „
Eisen . . .	$^1/_{26\,000}$ „	Mangan . .	$^1/_{200\,000}$ „	Zink . . .	$^1/_{600\,000}$ „
Gold . . .	$^1/_{4000}$ „	Nickel . .	$^1/_{600}$ „	Zinn . . .	$^1/_{17\,000}$ „

Aluminium.

Das Funkenspectrum des Aluminiums ist im sichtbaren Theile von Kirchhoff, Thalén und Lecoq de Boisbaudran, im ultravioletten von Hartley und Adeney, sowie von Cornu untersucht worden. Letzterer hat von den Linien der kürzesten Wellenlängen eine Zeichnung entworfen, aus welcher Julius die Wellenlängen mit Hülfe einer beigegebenen Formel berechnen konnte.

Das Bogenspectrum ist von Liveing und Dewar, sowie neuerdings von Kayser und Runge gemessen. Letztere haben im ganzen sichtbaren Theile keine einzige Linie erhalten. Im Bogen treten regelmässig die schönen Banden der Thonerde auf, deren Spectrum von Hasselberg gemessen und weiter unten in einer Tabelle wiedergegeben ist.

Bogen- und Funkenspectrum:

5723,5*	5696,5*	5057,4*	4662,9*	3961,68	3944,16	3092,95
3092,84	3082,27	3066,28	3064,42	3060,04	3057,26	3054,81
3050,19	2660,49	2652,56	2575,20	2568,08	2378,52	2373,23
2367,16	2269,20	2263,52	2210,15	2204,73	2174,13	2168,87
2150,69	2145,48	1988,4†	(1933,8†,	1929,0†)	(1860,5†,	1852,5†).

* nur im Funkenspectrum; Thalén.
† „ „ „ Cornu.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1892. Thalén, Nova Acta Reg. Soc. Sc. Upsal. [3] 6 (1868). Cornu, Spectre normal du soleil, Paris 1881. Compt. rend 100, 1181 (1885). Julius, Naturk. Verh. d. Akad. v. Wetensch. Amsterdam 26 (1888). Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 28, 367. Phil. Transact. 174, 220 (1883). Becquerel, Compt. rend. 96, 1218; 97, 72.

---

[1]) Cappel, Pogg. Ann. 139, 628 (1870).

Aluminiumoxyd.

Bogenspectrum.

Gruppe 5210—5079:

5162,05	5156,45	5155,42	5147,93	5143,27	5143,08	5123,79
(5123,57,	5123,47)	5102,84	5102,32	5079,52.		

Gruppe 5041—4842:

4914,35	4909,55	4908,21	4906,71	4906,52	4906,07	4905,22
4905,04	4904,84	4903,72	4903,54	4899,16	4895,20	4895,00
4892,32	4890,44	4888,57	4888,41	4887,79	4886,08	4885,87
4883,45	4882,43	4882,24	4881,25	4880,07	4879,91	4878,90
4878,79	4877,75	4876,64	4876,56	4875,46	4873,50	4873,35
4872,46	4872,29	4871,48	4870,46	4869,45	4868,42	4867,48
4866,54	4863,09	4862,77	4842,44.			

Gruppe 4842—4648:

4810,16	4809,80	4766,75	4766,53	4760,32	4752,53	4752,27
4749,19	(4745,17,	4744,95)	4742,56	(4736,08,	4735,94)	4727,40
(4719,41,	4719,29)	4715,45	4711,98	4711,81	(4707,53,	4707,26)
(4706,26,	4706,17)	(4706,01	4705,89)	4699,00	4697,90	(4695,30,
4694,78)	4689,77	4672,15	4658,68	4655,34	4648,14.	

Gruppe 4648—4471:

4593,97	4570,44	4557,84	4547,33	4543,23	4537,69	4534,24
(4523,45,	4522,86)	4516,54	4511,38	4494,22	4478,64	4470,63

Hasselberg, K. Svenska Vetensk. Akad. Handl. **24**, Nr. 15 (1892). Andere Beobachter: Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Thalén, Upsala Universitets Arsskrift 1866. Lockyer, Phil Trans. **163**, 658.

Antimon.

Das Funkenspectrum entsteht, wenn man Funken zwischen Antimonelektroden oder in eine concentrirte Lösung des Chlorids überspringen lässt; es ist von Kirchhoff, Huggins, Thalén und von Hartley und Adeney gemessen. Das vom Funkenspectrum verschiedene Bogenspectrum haben Liveing und Dewar, sowie eingehend mit $\lambda = 643\ \mu\mu$ beginnend Kayser und Runge aufgenommen. Im sichtbaren Theile desselben finden sich nur schwache und unscharfe Linien, die im Funkenspectrum nicht beobachtet sind, während umgekehrt die Linien des Funkens im Bogen fehlen.

Nach Lockyer und Roberts erzeugen Antimondämpfe ein continuirliches Absorptionsspectrum im Blau.

Bogen- und Funkenspectrum:

6302,8*	6129,7*	6079,2*	6004,7*	5910,1*	5894,6*	5639,1*
5568,25	4949,7*	4878,6*	4592,4*	4352,6*	4265,6*	3739,6†
3598,6†	3566,8†	3559,9†	3505,2†	3499,1†	3474,7†	3427,0†
3338,9†	3305,4†	3267,60	3232,61	3029,91	2980,2†	2965,6†
2913,1†	2890,7†	2878,01	2790,0†	2770,04	2719,00	2682,86
2670,73	2652,70	2631,6†	2616,7†	2612,40	2598,16	2528,60
2506,9†	2445,59	2383,71	2373,78	2360,60	2311,60	2306,56
2262,55	2179,33	2175,99	2098,47	2068,54.		

* nur im Funkenspectrum; Thalén.
† „ „ „ Hartley u. Adeney.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1893. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868); Hartley u. Adeney, Phil. Trans. **175**, 126 (1884). Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861; Huggins, Phil. Trans. **154**, 139 (1864); Lockyer, Ebend. **163**, 369 (1873). Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Lockyer u. Roberts, Proc. Roy. Soc. **23**, 344 (1875). Liveing u. Dewar, Phil. Trans. **174**, 221 (1883).

Argon.

Das Argon wurde im Jahre 1894 von Lord Rayleigh und Ramsay aus der atmosphärischen Luft dargestellt. Nach den Untersuchungen Crookes' bringt es in der Geissler'schen Röhre zwei durch die verschiedene Stärke des Inductionsfunkens bedingte Linienspectra hervor. Nach der Leuchtfarbe der Entladung sind sie kurz als rothes und blaues Spectrum bezeichnet. Ersteres enthält 80 Linien, letzteres 119; 36 sind beiden Spectren gemeinsam. Ob man es in der That mit einem einzelnen Elemente [1]) oder mit zweien zu thun hat, ist noch unentschieden. Ramsay hat nämlich gefunden, dass das aus Cleveït abscheidbare, früher für Stickstoff gehaltene Gas alle helleren Linien des atmosphärischen Argons hervorbringt, daneben die D_3-Linie des Heliums und einige weitere Linien. Das atmosphärische Argon, welches die D_3-Linie nicht aufweist, zeigt aber zum mindesten drei helle violette Linien, welche im Spectrum des aus Cleveït dargestellten Gases fehlen, woraus Ramsay schliesst, dass im atmosphärischen Argon noch ein anderes Gas enthalten ist, dessen Trennung noch nicht möglich war.

Berthelot hat beim Hindurchleiten eines mässigen Inductionsstromes durch ein im Geissler'schen Rohr befindliches Gemisch von Argon und Benzindämpfen ein Fluorescenzspectrum beobachtet, dessen Intensität von keinem anderen bekannten Gase hervorgebracht wird. Die gelben und grünen Strahlen können im Spectroskop bei vollem Tageslicht wahrgenommen werden. Nach Berthelot wird dieses Fluorescenzspectrum von einer aus Argon, Quecksilber und den Bestandtheilen des Benzols gebildeten Verbindung hervorgerufen.

Die folgenden, von Crookes vorgenommenen Messungen sind als endgültige noch nicht anzusehen.

Blaues Spectrum:

6174	6121	6039	5141	5066	5008	4966	4939	4880	4806
4735	4609	4588	4544	4510	4479	4427	4423	4400	4377
4370	4349	4334	4300	4273	4267	4260	4229	4202	4199
4192	4184	4165	4160	4106	4073	4045	4014	3949	3929
3869	3852	3781	3767	3730	3588	3581	3576	3559	3545
3514	3491	3476.							

[1]) Dewar und später Berthelot haben Gründe für die Annahme angeführt, dass das neue Gas eine allotrope Modification des Stickstoffes sei.

Rothes Spectrum:

7057	6966	6755	6665	6408	6211	6174	6039	5910	5888
5747	5652	5611	5558	5497	5457	5259	5223	5187	5166
4702	4510	4334	4301	4273	4260	4202	4199	4192	4184
4160	4157	4045	3949	3905	3555.				

Crookes, Zeitschr. phys. Chem. 16, 369 (1895). Andere Beobachter: Lord Rayleigh und Ramsay, Ebend. 16, 344 (1895). Berthelot, Compt. rend. 120, 662, 797, 1049, 1386 (1895).

Arsen.

Das Funkenspectrum des Arsens wird erzeugt, indem man Funken zum Chlorid oder durch Arsendampf überschlagen lässt, welchen man in der Geissler'schen Röhre entwickelt.

Das vom Funkenspectrum verschiedene Bogenspectrum, welches von Kayser und Runge von 600 $\mu\mu$ an photographirt wurde, besitzt im ganzen sichtbaren Theile keine einzige Linie. Dagegen hat es zwischen 300 $\mu\mu$ und 200 $\mu\mu$ eine ganze Anzahl zwar nicht sehr starker, aber sehr häufig erscheinender Linien, so dass sie als Verunreinigungen ausserordentlich leicht auftreten. Namentlich fehlen die beiden stärksten Linien 2349 und 2288 fast in keiner Aufnahme des Kohlebogens. Von Lockyer und von Ciamician ist ein cannelirtes Absorptionsspectrum beschrieben worden.

Bogen- und Funkenspectrum:

6170,7*	6111,2*	5652,1*	5559,2*	5499,1*	5332,1*	4494,7†
4467,0†	4459,4†	4431,7†	4036,7†	3949,2†	3931,4†	3922,3†
3825,1†	3785,0†	3119,69	3075,44	3057,7†	3053,0†	3032,96
2991,11	2898,83	2860,54	2830,2†	2780,30	2745,09	2601,2†
2528,3†	2526,4†	2492,98	2456,61	2437,30	2381,28	2370,85
2369,75	2349,92	2288,19	2271,46	2228,77	2165,64	2157,1†
2148,2†	2144,21	2133,92	2113,14	2067,26	2009,31.	

* nur im Funkenspectrum; Thalén.
† „ „ „ Hartley u. Adeney.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1893. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). Hartley u. Adeney, Phil. Trans. 175, 124 (1884). Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Huggins, Phil. Trans. 154, 139 (1864). Plücker u. Hittorf, Ebend. 155, 1. Ditte, Compt. rend. 73, 738 (1871). Lockyer, Ebend. 78, 1790 (1874). Ciamician, Wien. Ber. 76, 499; 78, 867; 82, 425. Huntington, Sillim. J. 22, 214 (1881).

Barium.

Das Funkenspectrum des Bariums ist von Kirchhoff, Huggins, Thalén und Lecoq de Boisbaudran untersucht, das Bogenspectrum von Lockyer, Liveing und Dewar, sowie in genauester Weise von Kayser und Runge, welche Chlorbarium und kohlensauren Baryt zur Herstellung verwandten und 162 Linien gemessen haben.

Im Bunsenbrenner werden die Bariumverbindungen bei heisser Flamme und längerem Verweilen dissociirt und bringen ohne Unter-

schied das in der beigegebenen Spectraltafel abgebildete Bandenspectrum des Oxyds mit der Metalllinie 5535,69 hervor. Frisch eingeführt rufen die Haloidverbindungen schnell vorübergehende eigene Verbindungsspectren hervor, die man stets mit Sicherheit erzeugen kann, wenn man unter die zu untersuchende Probe einen mit Salmiak beladenen Draht hält. Um sie dauernd zu erhalten, muss man der Flamme, welche die Substanz erhitzt, Dämpfe von Chlorwasserstoff-, Bromwasserstoffsäure oder Jod zuführen. Diese Flammenspectra sind von Mitscherlich und von Lecoq de Boisbaudran eingehend studirt.

Bogen- und Funkenspectrum:

6497,07	6141,93	6111,01	6063,33	6019,69	5971,94	5907,88
5853,91	5826,50	5805,86	5800,48	5777,84	5680,34	5535,69
5519,37	5424,82	5267,20	4934,24	4903,11	4900,13	4726,63
4700,64	4691,74	4673,69	4579,84	4574,08	4554,21	4525,19
4523,48	4506,11	4432,13	4402,75	4350,49	4283,27	4130,88
3995,92	3993,60	3938,09	3935,87	3910,04	3891,97	3611,17
3599,60	3544,94	3525,23	3501,29	3357,00	3071,71	2785,22
2771,51	2634,91	2347,67	2335,33	2304,32.		

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1891. Andere Beobachter: Kirchhoff, Ebend. 1861. Huggins, Phil. Trans. **154**, 139 (1864). Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] **6** (1868). Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Lockyer, Phil. Trans. **163**, 369; **164**, 806 (1874). Liveing u. Dewar, Ebend. **174**, 216 (1883).

Flammenspectra:

Bariumbromid:	5411	5359	(5305,	5250)	5207	5150.	
Bariumchlorid:	5314	5243	(5206,	5172)	5137.		
Bariumjodid:	5608	5377.					
Bariumoxyd:	6450	6298	(6240,	6179,	6109,	6032)	(5939,
	5868)	5825	(5769,	5720,	5648)	5535,69*	5493
	5347	5216	5090	4874.			

* vom Metall selbst herrührend.

Lecoq de Boisbaudran a. a. O. Andere Beobachter: Bunsen und Kirchhoff, Pogg. Ann. **110**, 161. Bunsen, Ebend. **155**, 366 (1875). Mitscherlich, Ebend. **116**, 419 (1862); **121**, 459 (1863).

Beryllium.

Das Spectrum des Berylliums ist bisher noch nicht eingehend untersucht worden; Thalén und Kirchhoff haben im sichtbaren Theile einzelne Linien des Funkenspectrums gemessen, zu denen einige weitere im Ultraviolett kommen, welche Hartley beobachtet hat. Vom Bogenspectrum hat Cornu zwei Linien verzeichnet.

Nach Crookes wird Beryllium im Vacuum zur Fluorescenz gebracht und zeigt dabei ein continuirliches blaues Spectrum.

Funkenspectrum:

4572,9 4489,4 3905,2 3322,3 3130,3 2649,8 2493,6 2478,1.

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] **6** (1868). Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Hartley, J. chem. Soc. **43**, 316. Lockyer, Proc. Roy.

Soc. 27, 280. Cornu, Spectre normal du soleil, Paris 1881. Ciamician, Wien. Ber. 82 [2], 425. Crookes, Ann. ch. phys. [5] 23, 555.

Blei.

Das Funkenspectrum erhält man mit Hülfe von Bleielektroden, am besten innerhalb einer Wasserstoffatmosphäre, weil sonst die Oxydbanden entstehen, welche Plücker und Hittorf beobachteten, als sie den Funken durch eine mit Bleichloriddämpfen erfüllte Geissler'sche Röhre leiteten.

Das Bogenspectrum, welches Liveing und Dewar und in neuester Zeit Kayser und Runge gemessen haben, ist vom Funkenspectrum wesentlich verschieden.

Lockyer und Roberts haben gefunden, dass Bleidämpfe bei niedriger Temperatur ein Absorptionsspectrum im Roth und Blau hervorbringen.

Die Bleiverbindungen zeigen sämmtlich das von Mitscherlich, Plücker und Hittorf und von Lecoq de Boisbaudran beschriebene cannelirte Oxydspectrum, welches aus den nach dem Roth abschattirten Banden 5905, 5685, 5611 und 5461 besteht. In der Bunsenflamme erscheint dasselbe zu schnell vorübergehend, um sicher beobachtet werden zu können. Man kann es nach H. W. Vogel aber dauernd erhalten, wenn man Bleichloriddämpfe der Wasserstoff- oder Leuchtgasflamme beimischt, wofür der Genannte einen Apparat construirt hat.

Bogen- und Funkenspectrum:

6657,4*	6453,3*	6041,2*	6002,08	5875,1*	5608,0*	5547,2*
5373,4*	5201,65	5045,9*	5005,62	4387,3*	4246,6*	4057,97
3740,10	3683,60	3639,71	3572,88	3262,47	3240,31	3220,68
2873,40	2833,17	2823,28	2802,09	2697,72	2663,26	2650,77
2614,26	2577,35	2476,48	2446,28	2443,92	2428,71	2411,80
2402,04	2393,89	2332,54	2247,00	2237,52	2175,88	2170,07
2115,1	2112,0	2088,5.				

* nur im Funkenspectrum; Thalén.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1893; Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Huggins, Phil. Trans. 154, 139. Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 29, 402 (1879). Phil. Trans. 174, 187 (1882). Hartley u. Adeney, Ebend. 175, 163. Lockyer, Ebend. 163, 253, 369; Lockyer u. Roberts, Proc. Roy. Soc. 23, 344. Mitscherlich, Pogg. Ann. 121, 468; Plücker u. Hittorf, Phil. Trans. 155, 25. Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874; H. W. Vogel, Prakt. Spectralanal., Berlin 1889.

Bor.

Das Bogenspectrum besteht nach Kayser und Runge nur aus zwei Linien, die auch Hartley neben einer dritten im Funkenspectrum beobachtet hat; Eder und Valenta haben im letzteren vierzehn weitere Linien aufgefunden und vier von Ciamician wahrgenommene Linien bestätigt. Die meisten Borlinien sind Doppellinien.

Die Borsäure und ihre Salze erzeugen in der Bunsenflamme ein charakteristisches Bandenspectrum.

Bogen- und Funkenspectrum:

3450,8* 2497,80 2496,84 2267,0† 2266,4†.

* nur im Funkenspectrum; Hartley.

† „ „ „ Eder u. Valenta.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1892. Eder u. Valenta, Denkschr. d. Wien. Akad. **60**, 307 (1893). Hartley, Proc. Roy. Soc. **35**, 301. Andere Beobachter: Troost u. Hautefeuille, Compt. rend. **73**, 620 (1871). Salet, Ann. ch. phys. [4] **28**, 59 (1873). Ciamician, Sitzber. d. Akad. d. Wiss. zu Wien **82** [2], 425.

Borsäure.

Banden, deren Mitte die folgenden W. L. haben.

Flammenspectrum: 6398 6211 6032 5808 5481 5440
5193 4912 4722 4530.

Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Thalén, Upsala Universitets Arsskrift 1866. Salet, Ann. ch. phys. [4] **28**. 59. Eder und Valenta, a. a. O., 310.

Brom.

In Bromdampf erzeugt der elektrische Funken ein Linienspectrum, von welchem nur annähernd genaue Messungen bekannt sind.

Dagegen ist das Absorptionsspectrum, welches Bromdampf bei gewöhnlicher Temperatur hervorbringt, von Hasselberg genau gemessen. Es besteht, bei grosser Dispersion gesehen, aus einer grossen Zahl feiner Linien, die zu Banden gruppirt sind.

Funkenspectrum des Bromdampfes:

7000†	6780†	6630†	6583	6559	6546	6353
6148	5876	5830	5723	5590	(5509,	5497,
5491)	(5450,	5423)	(5327,	5305,	5240	5184,
5166)	5060	4930	(4816,	4788)	4705	4677
4618	4366	3980.				

† ungenau.

Salet, Spectroscopie, Paris 1888; Ann. ch. phys. [4] **28**, 26. Andere Beobachter: Plücker, Pogg. Ann. **105**, 527; **107**, 87. Plücker u. Hittorf, Phil. Trans. **155**, 1. Ciamician, Wien. Ber. **76** [2], 499; **77** [2], 839; **78**, [2], 867.

Absorptionsspectrum:

Gruppe 6162 — 6142:	6158,09	6155,45	6154,19	6150,57	6148,15
Gruppe 6142 — 6122:	6125,12	6124,01.			
Gruppe 6122 — 6103:	6117,61	b(6116,47	6115,67)	6108,49.	
Gruppe 6103 — 6079:	6083,20	6082,50	6080,36	6079,78.	
Gruppe 6079 — 6066:	6077,85	6069,61.			
Gruppe 6066 — 6042:	6064,50	6055,95	6055,76	6055,22	6054,78
	6054,25.				
Gruppe 6042 — 6003:	6021,02	6020,15	6018,40	6017,73	b(6017,18
	6016,56)	6013,46	(6011,28,	6011,02)	6008,26
	6008,03.				

Gruppe 6003 — 5977:	5982,65	5982,34	5981,55	5981,30	5980,25.
Gruppe 5977 — 5949:	5966,29	5964,97	5964,35	5961,44	5961,06
	5960,54	5960,16	5959,22	5958,32.	
Gruppe 5949 — 5935:	5942,73.				
Gruppe 5935 — 5896:	5929,33	5924,62	5924,23	5924,00	5906,13
	5904,36	5903,69	5898,45.		
Gruppe 5896 — 5862:	5869,91.				
Gruppe 5862 — 5832:	5854,95	5846,34	5844,78	5843,44	5838,81
	5838,16	5837,59	5836,95	5836,41	5832,43.
Gruppe 5832 — 5807:	5828,60	5812,41	5812,18	5809,57	5808,87
	5808,15	5807,95.			
Gruppe 5807 — 5791:	5802,82	5802,26	5800,93	5798,15	5796,81
	5795,64	5795,44.			
Gruppe 5791 — 5763:	5782,46	5782,01	5777,39	5774,75	5773,90
	5773,02	5771,29	5765,71	5765,03	5764,42.
Gruppe 5763 — 5742:	5760,33	5748,57	5747,55	5744,46	5742,54.
Gruppe 5742 — 5712:	5739,81	5738,91	5738,11	5737,25	5736,49
	5730,97	5729,69	b(5727,63	5726,98)	5726,14
	5725,79	5725,54	5715,38	5712,44	5712,18.
Gruppe 5712 — 5688:	5711,38	5702,53	5701,83	5698,62	5697,29
	5693,89.				
Gruppe 5688 — 5659:	5678,02	5676,93	5667,97	5667,20	5666,46
	(5664,31	5664,06)	5663,52	5659,37.	
Gruppe 5659 — 5616:	5657,45	5656,93	5647,46	5646,42	5634,43
	5617,61.				
Gruppe 5616 — 5587:	5603,27	5602,44	5598,70	5596,17	5595,69
	5595,17	5592,68.			
Gruppe 5587 — 5555:	5573,63	5572,93	5572,73	b(5570,47	5569,90
	5569,56)	(5566,75	5566,33)	5565,97	5563,90
	5563,00	5561,35	5550,44	5560,16	5559,86
	5557,42	5556,93	5556,39	5556,03	5555,86.
Gruppe 5555 — 5528:	5542,08	5530,65.			
Gruppe 5528 — 5502:	(5506,88	5506,36)	5504,72	5503,62.	
Gruppe 5502 — 5477:	5500,58	5498,60	5496,41	(5491,98	5491,36)
	(5485,19	5484,93)	(5482,70	5482,53)	5482,17
	5479,32	5478,96.			
Gruppe 5477 — 5456:	5468,94	5467,24	(5466,84	5466,71)	5464,96
	5461,81	5460,74	5460,19	5457,15	5456,89.
Gruppe 5456 — 5430:	5455,62	5442,86	5439,75	(5436,98	5436,74)
	5432,25.				
Gruppe 5430 — 5406:	5420,61	5418,23	5417,50	5417,03	5415,96
	5414,76	5413,91	5410,93	5408,91.	
Gruppe 5406 — 5372:	5390,90	5389,92	5377,93	5375,92	5372,30
	5372,11.				
Gruppe 5372 — 5354:	5356,49	5353,80.			
Gruppe 5354 — 5333:	(5348,06	5347,87)	5342,38	5341,82	5340,92
	(5338,31	5338,07)	5333,11.		
Gruppe 5333 — 5317:	(5329,60	5329,30)	(5319,77	5319,56).	
Gruppe 5317 — 5289:	(5290,47	5290,21).			
Gruppe 5262 — 5243:	5256,32	5255,79	5251,87	5249,73	5248,80
	5247,61	5245,33.			
Gruppe 5243 — 5215:	5241,88	5241,72	5234,00	5215,92.	
Gruppe 5184 — 5159:	5184,57	5184,29	5183,60	5178,56	5174,91
	5168,26	5167,41	5163,35	5160,54.	

Hasselberg, K. Svensk. Akad. Handlingar 24, Nr. 3 (1891); Mém. de l'acad. de St. Pétersb. 26, Nr. 4 (1878). Andere Beobachter: Daniell und Miller, Pogg. Ann. 28, 386. Roscoe u. Thorpe, Phil. Trans. 167, 209. Moser, Pogg. Ann. 160, 188.

Cadmium.

Das Spectrum des Cadmiums ist, wie die beigegebene Literaturübersicht zeigt, Gegenstand zahlreicher Messungen gewesen. Die neuesten rühren von Kayser und Runge her, welche das Spectrum aus metallischem Cadmium, seltener aus Chlorcadmium erzeugten.

Das Spectrum des Bogens ist von dem des Funkens wesentlich verschieden. Letzteres weist ein Linienpaar von höchster Intensität auf, 5378,8 und 5338,3, das im Bogen fehlt. Dasselbe ist der Fall bei 90 minder hellen Linien zwischen 4215 und 2111, die Hartley und Adeney gemessen haben.

Cadmiumchlorid und -bromid werden schon in der Bunsenflamme dissociirt und lassen darin die Linien 5086, 4800 und 4678 erkennen.

Bogen- und Funkenspectrum:

6467,3*	6438,8*	5378,8*	5338,3*	5154,85	5086,06†	4800,09†
4678,37†	4662,69	4413,23	3613,04	3610,66	3467,76	3466,33
3403,74	3261,17	(3252,63	3133,29	3081,03)	2980,75	2880,88
2763,99	2639,63	2601,99	2573,12	2329,35	2312,95	2288,10
2267,53	2239,93	2194,67	2144,45.			

* nur im Funkenspectrum; Thalén.

† auch im Flammenspectrum des Chlorids und Bromids beobachtet; Lecoq de Boisbaudran.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1891. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6, 1868. Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Mascart, Annales de l'École normale 15 (1866). Lockyer, Phil. Trans. 163, 369 (1873). Cornu, Journ. de Phys. 10, 425 (1881). Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 29, 482 (1879); Phil. Trans. 179, 231 (1888). Hartley u. Adeney, Phil. Trans. 175, 98 (1883). Ames, Phil. Mag. [5] 30, 33 (1890). Bell, Am. Journ. of Sciences, Juni 1886.

Cäsium.

Das Cäsium wurde 1861 von Bunsen und Kirchhoff durch die Spectralanalyse entdeckt. Die Salze werden sämmtlich von der Bunsenflamme dissociirt und lassen die Metalllinien, am schärfsten das blaue Paar 4555 und 4593, sowie die orange Linie 6010 erkennen (vergl. Spectraltafel).

Bogen-, Funken- und Flammenspectrum:

6973,9	6723,6	6213,4	6010,6	5845,1	5664,0	5635,1
4593,34	4555,44	3888,83	3876,73	3617,08	3611,84.	

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1890. Andere Beobachter: Bunsen, Pogg. Ann. 119, 1; 155, 366. Johnson u. Allen, Phil. Mag. [4] 25, 199. Thalén, Nova Acta Soc. Ups. [3] 6 (1868). Lecoq de Bois-

baudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Lockyer, Proc. Roy. Soc. 27, 280 (1878). Liveing u. Dewar, Ebend. 28, 352 (1879).

Calcium.

Das Linienspectrum des Calciums ist von Kirchhoff, Huggins, Thalén, Lecoq de Boisbaudran, Lockyer, Cornu, Liveing und Dewar, sowie neuerdings von Kayser und Runge gemessen worden. Letztere benutzten zur Erzeugung des Spectrums das Bogenlicht und Chlorcalcium. Im Lichtbogen erscheinen neben den Linien zuweilen schwach einige Banden im rothen und gelben Theile des Spectrums, welche dem Oxyd angehören sollen (Lecoq de Boisbaudran). Eine grosse Anzahl der Calciumlinien erscheint ausserordentlich leicht, so dass sie z. B. durch die Kohlenstäbe der Lampe stets hervorgebracht werden. Im Infraroth hat Becquerel Banden von 8880 bis 8830 und von 8760 bis 8580 beobachtet.

In der Flamme des Bunsenbrenners zeigen die von Bunsen, Mitscherlich und Lecoq de Boisbaudran untersuchten Haloidverbindungen des Calciums neben einigen Banden der betreffenden Verbindung die Banden des Oxyds (vergl. Spectraltafel) und ausserdem die blaue Metalllinie 4226,91. Auch wenn man Chlor-, Brom-, Jod- oder Fluorwasserstoffdämpfe in die Flamme leitet, treten die Oxydbanden sehr leicht hervor.

Bogen- und Funkenspectrum:

6499,85	6462,75	6439,36	6169,87	6162,46	6122,46	6102,99
5867,94	5857,77	5603,06	5601,51	5598,68	5594,64	5590,30
5588,96	5582,16	5513,07	5349,66	5270,45	5265,79	5264,46
5262,48	5261,93	5189,05	5041,93	4878,34	4586,12	4581,66
4578,82	4527,17	4456,08	4454,97	4435,86	4435,13	4425,61
4355,41	4318,80	4307,91	4302,68	4299,14	4289,51	4283,16
4226,91†	3973,89	3968,63	3957,23	3933,83	3644,45	3630,82
3624,15	3487,76	3361,92	3350,22	3344,49	3179,45	3158,98
2398,66	2275,60.					

† erscheint auch in der Bunsenflamme.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1891. Andere Beobachter: Kirchhoff, Ebend. 1861. Huggins, Phil. Trans. 154, 139 (1864). Mascart, Ann. de l'école normale 15 (1866). Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). Spectre du fer Upsala 1884. Angström, Recherches sur le spectre solaire Upsal. 1868. Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Lockyer, Phil. Trans. 164, 809 (1874); Compt. rend. 82, 660. Cornu, Spectre norm. du soleil, Paris 1881. Liveing u. Dewar, Phil. Trans. 174, 187 (1882); Proc. Roy. Soc. 28, 367, 475; 29, 398. Becquerel, Compt. rend. 94, 1218; 97, 72. Eder u. Valenta, Phot. Corresp. 1893, S. 59. Rydberg, Wied. Ann. 52, 119 (1894).

Calciumbromid.

Flammenspectrum: 6267 6243 6103.

Mitscherlich, Pogg. Ann. 121, 459.

Calciumchlorid.

Flammenspectrum: 6266 (6203 6182) (6069 6045) 5934 5817 (5544 5518)*.

* wahrscheinlich dem Oxyd zukommend.

Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Anderer Beobachter: A. Mitscherlich, Pogg. Ann. 121, 459.

Calciumfluorid.

Flammenspectrum: 6061 6027 5329 5302.

Mitscherlich, a. a. O.

Calciumoxyd.

Flammenspectrum: 6221 5996 (5544 5518).

Cerium.

Von Cerium ist das Funkenspectrum bekannt, welches mittelst der Chlorverbindung erhalten wird. Ausserdem sind im Bogenspectrum 32 Linien zwischen 3900 und 4012 von Lockyer beobachtet.

Funkenspectrum:

5512,2	5409,7	5393,7	5353,1	5274,2	4714,5	4629,0	4573,4
4562,9	4561,4	4540,4	4528,4	4527,4	4523,9	4460,3	4428,8
4392,2	4386,2	4382,7	4296,6	4289,6.			

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6. Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Bunsen, Pogg. Ann. 155, 366. Lockyer, Proc. Roy. Soc. 27, 280. Phil. Trans. 1881, 3.

Chlor.

Das Linienspectrum erhält man, wenn man Funken durch eine mit Chlor gefüllte Geissler'sche Röhre oder durch Chlorgas bei Atmosphärendruck schlagen lässt. Auch wird es durch kurze Funken hervorgerufen, die von Platin in Salzsäure überspringen. Wie Hasselberg beobachtete, bewirken kräftige Funken und starke Verdünnung, dass die Glasröhren, welche Chlorverbindungen enthalten, das Chlorspectrum hervorbringen.

Ueber das Absorptionsspectrum des Chlors liegen neuere Messungen nicht vor.

Funkenspectrum: 5457,8 5444,7 5425,0 5393,4 (5220,8, 5217,2) 5103,2 5099,0 5078,4 4918,1 (4905,4, 4897,8) 4820,8 4810,7 4794,9.

Hasselberg, Bull. Acad. St. Pétersb. 28, 405. Andere Beobachter: Van der Willigen, Pogg. Ann. 106, 624. Plücker, Ebend. 107, 528. Plücker u. Hittorf, Phil. Trans. 155, 1. Ditte, Compt. rend. 73, 622. Angström, Ebend. 73, 369. Thalén, K. Svenska Vetensk. Akad. Handl. 12, Nr. 4, p. 8. Salet, Ann. ch. phys. [4] 28, 24. Ciamician, Wien. Ber. 78, 872.

Absorptionsspectrum: Zahlreiche Absorptionsbanden im Grün und Blau, totale Auslöschung im Violett.

Morren, Pogg. Ann. 137, 165 (1869); Sillim. Journ. [2] 47, 417.

Chrom.

Das Spectrum des Chroms ist bis jetzt nur unvollkommen untersucht. Die Funkenlinien des sichtbaren Theiles sind von Huggins und von Thalén gemessen, Lockyer hat einige weitere Linien zwischen 4000 und 3900 angegeben, und Liveing und Dewar haben das Bogenspectrum im Ultraviolett beobachtet.

Gelöste Chromverbindungen erzeugen charakteristische Absorptionsspectren, die mehrfach studirt sind. Die wichtigsten derselben sind weiter unten mit einigen anderen Absorptionsspectren abgebildet.

Bezüglich spectralanalytischer Gehaltsbestimmung von Kaliummonochromat, Kaliumdichromat und Chromalaunlösungen wird auf das Werk von G. und H. Krüss über Colorimetrie und quantitative Spectralanalyse verwiesen.

Bogen- und Funkenspectrum:

5410,0	5296,9	5276,2	5208,8	5207,4	5204,7	4497,0	4352,4
4345,0	4338,8	4338,1	4337,4	4289,9	4275,0	4254,5	3984,1
3605,5†	3593,8†	3578,8†	3446,7†	2780,0†.			

† im Bogenspectrum von Liveing und Dewar beobachtet.

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6. Liveing und Dewar, Proc. Roy. Soc. 32, 402 (1881). H. W. Vogel, Monatsber. Berl. Akad. 1878, S. 413. Ber. 8, 1533. Andere Beobachter: Kirchhoff, Abh. Berl. Akad. 1861. Huggins, Phil. Trans. 154, 139 (1864). Angström, Recherches sur le spectre solaire 1868. Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Lockyer, Phil. Trans. 1881.

Absorptionsspectra: Brewster, Pogg. Ann. 37, 315 (1836). Müller, Ebend. 72, 67 (1847). Erhard, Inaug.-Diss., Leipzig 1875. H. W. Vogel, Ber. 8, 1533 (1875). Monatsber. Berl. Akad. 1878, S. 413; Stoney u. Reynolds, Br. Assoc. Rep. 1878. Sabatier, Compt. rend. 103, 49 (1886). Lapraik, J. pr. Chem. [2] 47, 305 (1893). Etard, Compt. rend. 120, 1057 (1895).

Didym.

Die Metalle der seltenen Erden sind in neuerer Zeit wiederholt Gegenstand der Untersuchung gewesen und haben zur Entdeckung neuer Elemente geführt, welche sich als Bestandtheile von Körpern erwiesen, die man lange als Grundstoffe angesehen hatte. So wurde das Didym 1885 in zwei Componenten, Neodym und Praseodym, zerlegt, neben welchen das 1879 entdeckte Samarium im „alten" Didym enthalten war. In ähnlicher Weise wurden andere Erdmetalle der Cerium- und Yttriumgruppe in neue Elemente gespalten. Die chemischen Eigenschaften dieser Stoffe sind aber bislang noch nicht genügend klargestellt, um die Existenz dieser Elemente mit Sicherheit annehmen zu können. Krüss und Nilson sind auf dem Wege der Absorptionsspectralanalyse zu dem Ergebnisse gekommen, dass an Stelle des Didyms, Erbiums und Holmiums, Samariums und Thuliums mehr denn 20 Elemente zu setzen sind. Sie stützen sich dabei auf die An-

nahme, dass ein jedes Absorptionsmaximum für ein besonderes Element charakteristisch ist. Schottländer hat indess durch eine eingehende Untersuchung nachgewiesen, dass diese Annahme zu Fehlschlüssen führt. Auch Bailey hat Einwendungen dagegen erhoben. Zur Zeit ist daher die Grundlage für die spectroskopische Untersuchung der Metalle der seltenen Erden eine höchst unsichere, und deshalb beziehen sich die in dieser Zusammenstellung enthaltenen Beobachtungen zumeist noch auf die „alten“ Elemente.

Bahr und Bunsen haben gefunden, dass die Didymerde gleich der Erbinerde beim Erhitzen in der Bunsenflamme nicht nur, wie alle festen Körper, ein continuirliches Spectrum, sondern auch helle charakteristische Linien hervorbringt, welche sich als Absorptionslinien nahezu an gleicher Stelle wiederfinden, wenn Lösungen der Salze oder Gläser, welche die Erden enthalten, zum Absorbiren benutzt werden. Huggins und Reynolds haben aber beim Erhitzen der Erden im Knallgasgebläse gefunden, dass sie eine theilweise Verflüchtigung erfahren, mithin eine Ausnahme von dem Gesetze, dass feste Körper nur ununterbrochene Spectren liefern, nicht besteht.

Beim Vergleich der Absorptionsspectren von Didymchlorid, -sulfat und -acetat fand Bunsen, dass sich die Absorptionsstreifen in der Ordnung des wachsenden Atomgewichtes nach Roth verschieben.

Die Absorptionsspectren, welche die Erdmetalle im ultravioletten Theile hervorbringen, sind von Soret untersucht worden.

Funkenspectrum:	5486,0†	5372,0	5361,5	5319,9	5293,5
	5273,5	5249,5	5192,5	5191,5	5130,3
	4924,5	4463,2	4452,3	4446,7	4328,1
	4303,6	4109,8	4060,7.		

† vielleicht Samarium.

Thalén, Om Spectra tillhöranda Yttrium, Erbium, Didym och Lanthan, Stockholm 1878. Öfersigt K. Vetenskaps Akad. Förhandl. 40, Nr. 7 (1883). Andere Beobachter: Gladstone, Chem. Soc. J. 10, 219. Bunsen, Pogg. Ann. 155, 366. Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Delafontaine, Pogg. Ann. 124, 635. Lockyer, Phil. Trans. 1881.

Didymchlorid.

Absorptionsspectrum:

b (7431,7*	7361,7*	7308,7*)	6895,6*	6793,3*	[α] b (5963†
5886†	5824*	5789*	5748*	5720)	[β] b (5313*
5206)	(5125,8*	5088*)	4823†	4759	4692†
4441,7					

* Neodym. † Praseodym.

Nitrat des „alten“ Didyms.

Absorptionsspectrum. Lage der Dunkelheitsmaxima:

7291	6906	6794	6407	6235	6189	5797	5759	5317
5253	5217	5147	5126	4826	4771	4695	4633	4443
4341	4289,6	4173,6.						

Praseodymnitrat.

7291 6794 5916 5797 5759 5317 5217 5125 4826 4695 4443.

Absorptionsspectra: Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Compt. rend. 105, 276 (1887). Andere Beobachter: Bunsen, Pogg. Ann. 155, 366; Ann. Chem. Pharm. 128, 100; 131, 255. Huggins u. Reynolds, Proc. Roy. Soc. 18, 546. Lippich, Sillim. Journ. [3] 13, 304 (1873). Auer v. Welsbach, Sitzungsber. Wien. Akad. 92 (1885). Crookes, Chem. News 54, 27. Schuster u. Bailey, Brit. Assoc. Rep. 1883. H. Becquerel, Compt. rend. 104, 777, 1691; 106, 106. Haitinger, Monatsh. f. Chem. 12, 362 (1891). Soret, Compt. rend. 86, 1062; 88, 422; 91, 378. Krüss u. Nilson, Ber. 20, 2143. Dieselben, Ber. 20, 2145. Bailey, Ber. 20, 2769, 3325 (1887). Schottländer, Ber. 25, 569 (1892).

Eisen.

Das Spectrum des Eisens ist das an Linien reichste und ist, da diese sich über alle Theile verbreiten, in hohem Grade geeignet, gleich den Fraunhofer'schen Linien bei spectroskopischen Untersuchungen als Anhalt für Ortsbestimmungen zu dienen.

Sieht man von älteren, minder genauen Messungen des Eisenspectrums ab, so kommen von neueren Beobachtungen folgende in Betracht. Mit grosser Sorgfalt hat Thalén die Linien des Kohle-Eisen-Bogens mit den Atlanten des Sonnenspectrums von Angström, Fiévez und Vogel verglichen und die Linien zwischen 760 und 400 $\mu\mu$ herausgesucht. Cornu hat im ultravioletten Theile zwischen λ 410 $\mu\mu$, 295 $\mu\mu$ die stärksten Linien photographisch bestimmt und Liveing und Dewar mit grösserer Genauigkeit die Strecke zwischen 295 $\mu\mu$ und 230 $\mu\mu$ aufgenommen. Hierzu kommen noch die Untersuchungen derselben Forscher und von Hartley und Adeney über das Funkenspectrum des Eisens. Alle diese Messungen hatten indess die fehlerhafte Angström'sche Wellenlänge für die D-Linien als Grundlage, so dass eine neue genauere Messung der Eisenlinien zur dringenden Aufgabe ward. Dieser haben sich Kayser und Runge unterzogen und dabei eine Genauigkeit bis auf 0,02 Angström'sche Einheiten im Allgemeinen erreicht. Kayser und Runge haben mehr als 4500 Linien gemessen. Bei einer Vergleichung derselben mit dem Rowland'schen Sonnenatlas, welche sich etwa zwischen 520 $\mu\mu$ und 320 $\mu\mu$ durchführen liess, fanden sie keine einzige Linie, von der sich mit Sicherheit behaupten liesse, dass sie bei Rowland nicht vorhanden sei.

Die wenig charakteristischen Absorptionsspectren der gelösten Eisenverbindungen sind von H. W. Vogel studirt, einige derselben sind mit den übrigen Absorptionsspectren weiter unten abgebildet.

Das Spectrum der bei der Stahlbereitung nach Bessemer's Verfahren auftretenden Flamme ist von Roscoe, Lielegg und von Marshall Watts untersucht worden. Letzterer fand, dass die grünen

Banden im Spectrum der Bessemerflamme durch Manganoxyd hervorgebracht werden, und dass dieselben gerade in dem Augenblicke verschwinden, wo die Entkohlung des Eisens vollendet ist und der dem letzteren zugeführte Luftstrom abgestellt werden muss. Dieser Moment, welcher sonst nur vom geübten Auge eines erfahrenen Arbeiters mehr oder weniger genau erkannt wurde, lässt sich ohne Schwierigkeit mit Hülfe des Spectroskops mit grösster Genauigkeit feststellen.

Bogenspectrum:

6678,23	6663,38	6633,92	6609,35	6594,11	6593,14	6575,17
6569,46	6546,47	6518,62	6495,20	6431,06	6421,55	6420,17
6411,86	6408,23	6400,27	6393,81	6380,95	6337,07	6335,55
6322,91	6318,22	6302,73	6301,71	6297,99	6291,18	6270,44
6265,34	6256,57	6254,45	6252,76	6246,53	6232,90	6230,94
6219,49	6215,36	6213,63	6200,53	6191,77	6180,42	6170,69
6157,96	6141,93	6137,91	6136,85	6128,11	6103,45	6102,40
6078,71	6065,71	6056,21	6042,31	6027,27	6024,28	6020,35
6008,78	6003,28	5987,29	5985,04	5983,98	5977,12	5975,58
5956,92	5953,01	5934,83	5930,29	5916,47	5914,38	6905,94
5862,58	5859,91	5816,59	5782,35	5775,30	5763,22	5753,33
5731,98	5718,10	5709,61	5701,77	5686,66	5662,75	5659,06
5638,52	5624,77	5615,88	5603,17	5586,99	5576,32	5573,07
5569,85	5565,83	5555,03	5506,98	5501,69	5497,70	5476,89
5474,13	5463,49	5455,83	5447,16	5445,28	5434,74	5429,81
5424,23	5415,42	5411,20	5405,99	5404,42	5400,67	5397,32
5393,38	5383,58	5371,67	5370,17	5367,67	5365,08	5353,59
5341,21	5340,16	5333,09	5328,71	5328,21	5324,37	5307,54
5302,52	5283,80	5281,97	5273,55	5270,52	[E_2]5269,72	5266,73
5263,42	5250,81	5242,66	5233,12	5230,01	5227,39	5227,08
5216,43	5208,80	5202,48	5195,09	5192,53	5191,68	5171,78
5169,07	5167,57	5162,45	5153,34	5151,02	5148,42	5139,65
5139,44	5137,56	5133,70	5125,30	5123,88	5110,57	5107,82
5105,73	5098,83	5083,50	5079,91	5079,42	5068,95	5065,15
5051,78	5050,01	5041,91	5015,13	5012,21	5006,30	5005,90
5002,08	4982,73	4966,29	4957,50	4957,48	4938,99	4920,68
4919,19	4891,68	4890,94	4878,41	4872,31	4871,49	4859,94
4789,80	4737,00	4707,51	4691,59	4679,03	4668,36	4667,62
4654,76	4647,60	4638,19	4637,68	4625,25	4619,46	4611,47
4607,85	4603,09	4598,32	4592,82	4556,28	4548,01	4531,31
4528,84	4525,32	4494,74	4484,42	4482,40	4476,25	4469,58
4466,75	4461,83	4459,29	4454,55	4447,90	4443,35	4442,52
4433,37	4430,79	4427,49	4422,74	4415,30	4408,59	4407,85
4404,94	4401,51	4391,14	4388,62	[d]4383,72	4376,10	4369,94
4367,73	4352,90	4337,20	[f]4325,94	4315,23	4309,55	[G]4308,07
4305,63	4299,44	4294,31	4285,62	4282,54	4271,92	4271,35
4268,02	4260,67	4250,96	4250,30	4247,65	4245,40	4239,95
4239,03	4236,14	4233,81	4227,65	4225,66	4224,32	4222,39
4219,52	4217,74	4216,33	4210,53	4204,12	4202,18	4199,26
4198,47	4196,36	4195,51	4191,62	4187,97	4187,22	4185,06
4182,51	4181,91	4177,71	4176,67	4175,76	4175,03	4172,86
4172,25	4171,04	4158,94	4157,95	4156,93	4155,00	4154,62
4154,09	4149,49	4147,79	4144,01	4143,58	4137,11	4134,82
4133,01	4132,20	4127,73	4122,64	4121,97	4118,72	4114,60
4109,93	4107,65	4104,25	4100,88	4098,31	4096,11	4085,43

4085,12	4084,64	4079,96	4078,46	4076,77	4074,92	4071,90
4070,90	4068,12	4067,41	4067,09	4063,75	4062,60	4057,96
4045,97	4034,64	4033,21	4030,89	4022,02	4014,68	4009,85
4005,31	3998,22	3997,54	3986,32	3984,08	3981,91	3977,90
3971,48	3969,39	3956,82	3952,76	3951,30	3950,10	3948,92
3942,58	3941,03	3935,97	3933,80	3930,37	3928,06	3923,05
3920,41	3917,34	3916,88	3906,63	3904,05	3903,11	3899,85
3898,10	3895,80	3888,68	3887,22	3878,71	3886,42	3878,17
3873,93	3872,66	3867,38	3865,70	3860,04	3859,39	3856,52
3852,76	3851,01	3850,16	3847,01	3843,41	3841,24	3840,58
3839,43	3836,53	3834,42	3827,97	3826,02	3824,63	[L]3820,56
3815,98	3813,17	3806,89	3805,49	3799,70	3798,66	3797,70
3795,15	3790,27	3788,03	3779,63	3767,33	3765,71	3763,94
3758,38	3749,62	3748,41	3746,05	3745,71	3743,51	3738,48
3737,26	3735,49	3735,01	3732,55	[M](3727,77	3727,17)	3724,55
3722,69	3720,05	3716,59	3709,37	3708,07	3704,63	3701,24
3694,17	3687,81	3687,62	3686,14	3682,39	3669,69	3659,64
3651,65	3647,95	3640,57	3631,59	3623,37	3622,19	3621,65
3618,89	3617,98	3610,33	3609,03	3606,87	3605,66	3594,75
3587,14	3586,24	3584,82	[N]3581,34	3574,04	3572,16	3570,23
3565,53	3558,66	3557,03	3555,08	3545,78	3542,24	3541,20
3536,69	3533,34	3527,94	3526,55	3526,29	3521,40	3513,97
3497,99	3497,27	3490,72	3489,78	3476,85	3475,56	3471,44
3465,97	3460,06	3452,39	3452,03	3450,44	3447,41	3445,26
3444,02	[O]3441,13	3440,70	3428,30	3427,24	3426,75	3426,48
3425,12	3424,40	3422,73	3418,61	3417,96	3415,65	3413,26
3410,30	3407,57	3406,96	3404,44	3402,37	3401,64	3399,43
3394,69	3392,76	3384,07	3380,21	3379,15	3378,78	3370,91
3369,66	3366,92	3355,33	3348,03	3342,39	3340,68	3337,77
3329,04	3323,88	3314,87	3310,57	3307,37	3306,48	3306,10
3298,24	3292,74	3292,17	3291,14	[Q]3286,87	3280,41	3274,09
3271,11	3265,72	3257,73	3254,51	3251,32	3248,35	3244,31
3239,54	3234,11	3231,07	3227,92	3225,91	3222,16	3219,91
3219,70	3217,53	3216,07	3214,14	3212,12	3205,49	3200,58
3199,66	3197,08	3193,41	3192,89	3191,81	[R]3180,34	3178,12
3175,54	3171,48	3166,59	3166,01	3162,08	3160,74	3158,03
3157,19	3153,35	3151,42	3144,10	3142,58	3134,25	3132,65
3126,29	3125,76	3119,62	3116,73	3102,80	3100,78	[S_2]3100,42
3100,06	3098,29	3093,96	3091,71	3083,84	3075,82	3067,35
3059,23	3057,54	3055,39	3053,17	[s]3047,70	3045,20	3042,79
3042,17	3041,87	3040,58	3037,49	3037,41	3031,78	3031,35
3030,28	3026,61	3025,96	3024,15	[T](3021,19	3020,76)	3019,09
3017,75	3016,29	3011,61	3009,70	3008,23	3007,34	3003,18
3001,04	3000,60	2999,63	[t]2994,52	2991,82	2990,48	2987,40
2985,69	2984,96	2983,67	2981,99	2981,57	2980,66	2976,23
2973,36	2973,25	2970,22	2969,56	2967,00	2965,38	2960,11
2957,61	2957,48	2957,42	2954,06	2953,90	2953,61	2950,38
2949,32	2948,56	[U]2947,99	2947,81	2944,53	2941,46	2937,94
2937,02	2929,13	2926,69	2925,47	2923,96	2923,43	2920,79
2918,14	2914,37	2912,27	2909,60	2909,00	2907,60	2902,05
2901,48	2899,52	2898,55	2895,14	2894,60	2892,59	2887,91
2886,41	2883,82	2881,68	2880,87	2877,40	2874,27	2872,41
2869,41	2866,71	2863,95	2863,48	2862,59	2858,99	2853,84
2852,22	2851,89	2850,72	2848,80	2846,90	2845,66	2844,08
2843,74	2840,53	2840,09	2838,23	2835,54	2832,53	2828,90

2825,78	2825,67	2824,45	2823,37	2819,38	2817,58	2815,61
2813,39	2808,40	2807,08	2804,59	2803,71	2801,18	2798,36
2797,85	2795,61	2795,03	2794,80	2792,47	2791,87	2791,54
2789,90	2788,20	2788,08	2783,78	2781,95	2779,37	2778,92
2778,32	2778,18	2774,79	2773,31	2772,21	2769,40	2767,62
2767,02	2764,44	2763,20	2762,85	2762,11	2761,88	2760,99
2759,89	2757,94	2757,41	2756,43	2755,83	2754,51	2754,12
2753,77	2753,40	2750,98	2750,24	2749,64	2749,45	2749,26
2747,67	2747,08	2746,57	2745,16	2744,63	2744,16	2743,66
2743,26	2742,48	2739,62	2737,40	2737,05	2735,74	2735,64
2735,54	2734,42	2733,67	2730,82	2728,93	2728,14	2727,64
2726,23	2725,00	2723,67	2720,99	2720,31	2719,54	2719,12
2718,54	2714,51	2711,74	2710,64	2708,67	2706,68	2706,10
2704,09	2699,21	2697,11	2696,44	2696,15	2690,15	2689,95
2689,31	2680,56	2679,16	2673,31	2669,60	2668,00	2667,08
2666,97	2666,46	2664,77	2662,16	2661,32	2660,51	2656,88
2656,24	2651,81	2647,67	2645,55	2644,08	2641,77	2635,90
2631,40	2631,12	2628,39	2625,75	2623,61	2621,75	2620,50
2617,70	2615,53	2613,94	2611,96	2607,19	2605,80	2604,93
2599,49	2598,46	2594,23	2593,78	2591,64	2588,14	2585,95
2584,63	2582,53	2579,95	2578,04	2576,77	2576,23	2575,86
2574,46	2572,85	2570,59	2569,76	2566,99	2563,56	2562,61
2560,68	2556,95	2556,41	2553,35	2551,22	2549,68	2548,79
2547,09	2546,29	2544,86	2544,05	2542,23	2541,06	2539,01
2537,24	2536,93	2535,70	2533,89	2532,40	2530,82	2529,43
2528,60	2527,50	2527,33	2526,33	2525,51	2525,14	2524,35
2523,79	2523,22	2522,92	2522,00	2521,12	2518,19	2517,79
2517,28	2516,22	2514,41	2512,41	2511,08	2510,91	2508,81
2508,02	2507,01	2505,67	2503,53	2502,56	2501,90	2501,20
2498,99	2497,91	2497,18	2496,63	2496,04	2493,30	2491,24
2491,01	2489,07	2488,24	2484,28	2483,34	2480,28	2480,04
2479,85	2476,80	2474,91	2473,18	2472,86	2472,43	2469,00
2467,83	2466,84	2465,23	2462,74	2461,31	2460,40	2458,81
2457,68	2453,56	2447,84	2444,61	2443,97	2442,65	2440,28
2439,85	2439,39	2438,30	2436,48	2435,07	2431,11	2430,19
2429,56	2424,23	2421,82	2413,39	2411,19	2410,60	2406,74
2404,96	2404,51	2399,31	2395,72	2391,56	2388,73	2384,51
2383,27	2382,12	2380,85	2379,41	2375,33	2373,82	2370,59
2368,69	2366,69	2364,91	2362,14	2360,40	2360,09	2359,20
2354,96	2348,39	2344,40	2344,12	2343,56	2338,11	2332,86
2331,41	2327,45	2320,43	2313,20	2309,08	2303,55	2298,25
2297,88	2293,98	2291,21	2289,06	2230,13	2227,81	2214,70

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1888 u. 1890. Andere Beobachter: Kirchhoff, Ebend. 1861. Huggins, Phil. Trans. **154**, 139 (1864). Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] **6**; le spectre du fer 1884. Angström, Recherches sur le spectre solaire 1868. Mascart, Ann. de l'école normale **4**, 1866. Secchi, Compt. rend. **77**, 173 (1873). Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Cornu, Spectre normal du soleil, Paris 1881. Lockyer, Phil. Trans. **164**, 479. Liveing u. Dewar, Ebend **174**, 210. Proc. Roy. Soc. **32**, 402. Hartley u. Adeney, Phil. Trans. 1884. H. W. Vogel, Prakt. Spectralanal., Berlin 1889. Roscoe, Proc. Manchester Lit. and Phil. Soc. 1863. Lielegg, Sitzungsber. Wien. Akad. 1867. Marshall Watts, Phil. Mag. [4] **34**, 437; **38**, 249.

Absorptionsspectrum: Müller, Pogg. Ann. **72**, 67 (1847). H. W. Vogel, Ber. **8**, 1537 (1875). Ewan, Proc. Roy. Soc. **57**, 140 (1895).

Erbium.

Ueber das Erbium gelten die Bemerkungen, welche zum Didym gemacht wurden.

Funkenspectrum:	5827	5763	5344,4	5257	5218
	5189	4952	4899,9	4872,4	4820
	4674,9	4606,3	4501,3.		

Thalén, Om Spectra Yttrium, Erbium, Didym och Lanthan, Stockholm 1874; Öfversigt K. Vetensk. Akad. Förhandl. 40 (1881). Andere Beobachter: Bunsen u. Bahr, Ann. Chem. 137, 1. Huggins, Proc. Roy. Soc. 1870. Bunsen, Pogg. Ann. 155, 366.

Erbiumchlorid.

Absorptionsspectrum:	6839	6671	6535	6405	5410
	5364	[α]5232	4922	4875	4516.

Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Andere Beobachter: Bunsen, Pogg. Ann. 155, 366. Bunsen u. Bahr, Ann. Chem. Pharm. 137, 1.

Fluor.

Ueber das Fluor sind genaue Messungen nicht vorhanden. Salet liess den Inductionsfunken durch Fluorsilicium hindurchschlagen und erhielt ein schönes blaues Bandenspectrum dieser Verbindung. Durch Einschaltung der Leydener Flasche wurde das Funkenspectrum des Fluors hervorgerufen. Liveing hat das Flammenspectrum, mit der letzten Salet'schen Linie beginnend, gemessen.

Funkenspectrum: 6922† 6862† 6782† 6401 6231.
† nur annähernd genau.

Flammenspectrum: 6231 6091 6011 5571 5321.

Salet, Ann. ch. phys. 28, 34 (1873). Andere Beobachter: Mitscherlich, Pogg. Ann. 121, 476. Seguin, Compt. rend. 54, 933 (1862). Liveing, Proc. Cambridge Phil. Soc. 3, Th. 3.

Gallium.

Das Funkenspectrum des Galliums ist von Lecoq de Boisbaudran, dem Entdecker des Elementes, gemessen, das Bogenspectrum von Liveing und Dewar.

Funken- und Bogenspectrum: 4171 4031.

Lecoq de Boisbaudran, Compt. rend. 82, 168. Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 28, 482.

Germanium.

Das Funkenspectrum des Germaniums ist von Kobb und von Lecoq de Boisbaudran untersucht worden. Letzterer hat aus seinen Messungen das Atomgewicht von Germanium berechnet.

Funkenspectrum:

6337	6021	5893	5256,5	5229,5	5210
5178,5	5135	5131	4814	4743	4685,3
4291,6	4261	4226	4179.		

Kobb, Wied. Ann. 29, 670 (1886). Lecoq de Boisbaudran, Compt. rend. 102, 1291 (1886). Ber. 19, 479.

Gold.

Vom Bogenspectrum des Goldes waren nur drei von Liveing und Dewar gemessene ultraviolette Linien bekannt, als Kayser und Runge dasselbe von W. L. 6600 bis 2280 genau untersuchten. Sie erzeugten das Spectrum durch Einbringen von Feingold, seltener von Goldchlorid, in den Kohlebogen.

Das Funkenspectrum haben Kirchhoff, Huggins, Thalén und Krüss im sichtbaren Theile untersucht. Letzterer schreibt die Linie 5230,47 nicht dem Gold, sondern dem Platin zu.

Bogen- und Funkenspectrum:

6278,37	5957,24	5837,64	5656,00	5230,47	5064,75	4792,79
4488,46	4065,22	3122,88	3033,38	3029,32	2932,33	2905,98
2676,05	2428,06.					

Kayser u. Runge, Abhand. Berl. Akad. 1892. Andere Beobachter: Kirchhoff, Ebend. 1861. Huggins, Phil. Trans. 1864, p. 139. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6. Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Liveing u. Dewar, Phil. Trans. 174, 2219 (1882). Krüss, Lieb. Ann. 238, 30 (1887).

Helium.

Die im Spectrum der Sonne aufgefundene gelbe D_3-Linie wurde bis auf die neueste Zeit einem hypothetischen Elemente zugeschrieben, das von Frankland Helium genannt war. Im Jahre 1895 entdeckte es Ramsay neben Argon in einem aus dem Cleveït erhaltenen Gase, und bald darauf auch in einem Meteoriten von Augusta County, Virginia. Cleve fand Helium frei von Argon im Cleveït von Carlshuus in Norwegen und beobachtete ausser der D_3-Linie fünf weitere Linien, Deslandres vermochte unter Anwendung einer sehr starken Dispersion folgende Linien zu beobachten:

6678	5876,0	5048,4	5016,0	4922,2	4713,35	4471,75	4437,9	4388,4
4143,9	4120,9	4026,2	3964,0	3888,75	3819,7	3705,4	3613,8	3447,7
3187,9	2945,7.							

An der Identität des irdischen und solaren Heliums machten sich Zweifel geltend, als Runge und Paschen bei der Untersuchung des Cleveïtgases fanden, dass sich bei 5876,0 eine Doppellinie befindet, während die Heliumlinie der Sonne seit Langem als einfach bekannt war. Von Huggins und von Hale wurde indess daraufhin bei erneuerten Beobachtungen festgestellt, dass auch die D_3-Linie eine doppelte ist.

Palmieri, Accad. di Napoli. Rendic. 20, 233 (1882). Ramsay, Compt. rend. 120, 660, 1049. Ber. 28, 318, 448. Cleve, Compt. rend. 120, 834. Ber. 28, 373. Deslandres, Compt. rend. 120, 1110, 1331 (1895).

Indium.

Das Indium ist durch sein Flammenspectrum, bestehend aus einer scharfen indigblauen und einer violetten Linie (vergl. Spectraltafel), im Jahre 1864 von Reis und Richter entdeckt. Das Funkenspectrum haben Clayden und Heycock, sowie in geringem Umfange Thalén im sichtbaren, Hartley und Adeney im ultravioletten Theile gemessen.

Das Bogenspectrum, von dem Liveing und Dewar nur die beiden oben erwähnten Hauptlinien beobachtet hatten, ist von Kayser und Runge genau gemessen.

Bemerkenswerth ist, dass das Funkenspectrum sowohl im sichtbaren Theile wie auch im Ultraviolett sehr viele Linien enthält, welche im Bogenspectrum fehlen, ein aufallendes Beispiel für die grössere Einfachheit des letzteren gegenüber dem Funkenspectrum.

Flammenspectrum: 4511,44 4101,87.

Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Andere Beobachter: Reich u. Richter, J. pr. Chem. 89, 441. Müller, Pogg. Ann. 124, 637.

Bogenspectrum:	4511,44	4101,87	3258,66	3256,17	3039,46
	2932,71	2753,97	2714,05	2710,38	2601,84
	2560,25	2521,45	2460,14	2389,64	2340,30.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1892.. Andere Beobachter: Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 28, 367 (1879).

Funkenspectrum:

6907,6	6193,9	6096,0	5821,0	5645,0	5251,0	4680,9
4656,9	4638,8	4532,8	4511,44	4253,7	4101,87	4072,3
4064,2	4033,4	3853,5	3835,3	3258,66	3256,17	3039,46
2932,71	2890,2	2710,38	2560,25	2527,5	2521,45	2460,14
2389,64	2351,7	2306,8.				

Clayden u. Heycock, Phil. Mag. 5, 387 (1876). Hartley u. Adeney, Phil. Trans. 175, 63 (1883). Andere Beobachter: Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868).

Iridium.

Ueber dieses Metall liegen genaue Messungen nicht vor. Kirchhoff hat drei schwache Linien, 6348,1, 5450,6, 5300,2, beobachtet. Lockyer hat im Bogenspectrum sechs Linien zwischen W. L. 4000 bis 3900 gemessen.

Von H. W. Vogel ist ein Absorptionsspectrum des Iridiumammonchlorids beschrieben.

Bogenspectrum: 3992,2 3976,0 3945,8 3934,7 3915,2 3902,5.

Lockyer, Phil. Trans. 1881, Th. 3. Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. — Absorptionsspectrum. H. W. Vogel, Prakt. Spectralanal., Berlin 1889.

Jod.

Das Linienspectrum des Jods ist hauptsächlich von Plücker und Hittorf und von Salet untersucht worden. Letzterer liess Funken der

Leydener Flasche oder Holtz'schen Maschine durch eine Geissler'sche Röhre gehen, welche erst dann geschlossen wurde, als das Jod verdampfte. Neuere Messungen liegen nicht vor.

Der violette Joddampf bringt ein von Hasselberg genau untersuchtes Absorptionsspectrum hervor, das sich auf die rothen bis grünen Theile, aber nicht auf die blauen und violetten erstreckt. Es besteht aus sehr zahlreichen feinen Linien, die sich zu Banden gruppiren.

Die Absorptionsspectren verschiedener Jodlösungen sind von H. W. Vogel, diejenigen von Chlor- und Bromjod von Gernez studirt.

Funkenspectrum:

6258 6211 6126 6079 5953 (5791 5774 5761 5739 5712) (5689 5674) 5625 (5495 5462 5534 5404) (5345 5337) 5244 5163 5016 4866 (4678 4669) 4634.

Absorptionsspectrum des Joddampfes:

Gruppe 6316 — 6272:	6316,51	6298,29	6297,76	6294,75	6294,25
	6291,94	6291,46	6289,83	6272,42.	
Gruppe 6272 — 6234:	6253,07	6252,96	6237,72.		
Gruppe 6234 — 6191:	6233,93	6229,68	6212,41	6210,18	6191,87.
Gruppe 6191 — 6149:	6190,97	6153,08	6149,48.		
Gruppe 6149 — 6111:	6111,25.				
Gruppe 6111 — 6069:	6108,87	6069,31.			
Gruppe 6069 — 6031:	6063,49	6047,82	6046,87	6045,94	6042,81
	6035,82	6034,83 b	(6033,40	6033,05) b	(6031,92
	6031,58).				
Gruppe 6031 — 5992:	6030,99	6024,38	6020,38	6018,37	6008,85
	(5994,65	5994,42)	5993,89	5993,03.	
Gruppe 5992 — 5976:					
Gruppe 5955 — 5917:	(5948,83	5948,62) b	(5922,53	5922,04) b	(5921,77
	5921,24) b	(5921,00	5920,58)	5920,00	5919,75
	5919,36	5919,11	5917,55.		
Gruppe 5917 — 5881:	5885,00	5884,74	5884,10	5881,17.	
Gruppe 5881 — 5846:	5866,91	5859,85	5856,49	(5850,51	5850,22)
	5848,57	5847,08	5846,54	5846,22.	
Gruppe 5846 — 5811:	5815,40	5812,66	5811,65.		
Gruppe 5811 — 5778:	(5805,86	5805,63)	(5798,69	5798,45)	(5798,14
	5797,93)	5793,47	5778,87	5778,62	5778,28.
Gruppe 5778 — 5746:	5746,21.				
Gruppe 5746 — 5715:	5745,92	5720,60	5715,45.		
Gruppe 5715 — 5684:	5714,92	5712,24	5708,38	5698,70	5697,84
	5693,05	5685,09	5684,54.		
Gruppe 5684 — 5655:	5683,08	5678,59	5676,82	5658,98.	
Gruppe 5655 — 5626:	5654,71	4649,61	5647,68	5646,72 b	(5646,14
	5645,50)	5640,90	5640,00	5639,15 b	(5638,64
	5638,23)	5637,36	(5628,90	5628,35)	5627,97
	5627,19	5626,50.			
Gruppe 5626 — 5599:	(5620,59	5620,33)	5616,50	5614,53	5602,98
	5601,81	5599,14.			
Gruppe 5599 — 5587:	5588,98	5587,56.			
Gruppe 5587 — 5560:	5585,10	(5577,63	5577,42)	5574,11	5572,71
	5561,58	5560,44	5560,25	5559,57.	

Gruppe 5560 — 5533:	5557,17	5553,61	5549,40	b(5547,92	5546,96
	5546,07)	5545,57	5542,37	5540,91	5533,37.
Gruppe 5533 — 5507:	b(5531,75	5531,10)	5527,58	5526,38	b(5522,25
	5521,79)	5521,34	5520,33.		
Gruppe 5507 — 5482:	5505,19	5504,95	5500,43	5498,32	5497,81
	(5497,51	5497,15)	5496,36	5490,37	5489,67
	5488,95	b(5483,00	5482,11).		
Gruppe 5482 — 5457:	5473,55	b(5473,12	5472,67)	5468,38	5466,76
	(5457,90	5457,08).			
Gruppe 5457 — 5434:	5438,43	5434,03.			
Gruppe 5434 — 5411:	5430,71	5425,76	5419,78	5418,85	5416,99
	5414,28	5412,31	5411,66.		
Gruppe 5411 — 5389:	b 5410,75	5404,96	5404,04	b(5393,91	5393,44)
	5390,85	b(5390,21	5389,01).		
Gruppe 5389 — 5367:	5381,90	5380,93	5378,05	5377,32	5375,20
	5374,38	5369,74	5369,20	5368,51	5368,01.
Gruppe 5367 — 5347:	5364,76	5358,81	5357,91	5356,63	5355,89
	5353,28	5350,56	5349,87	5348,06	5347,35.
Gruppe 5347 — 5327:	5346,24	5343,12	5341,43	5340,14	5333,73
	5333,10	5330,97	5329,32.		
Gruppe 5327 — 5308:					
Gruppe 5308 — 5291:					
Gruppe 5291 — 5273:	5290,72.				
Gruppe 5273 — 5255:	5272,75.				
Gruppe 5255 — 5240:					
Gruppe 5240 — 5224:	5224,10.				
Gruppe 5224 — 5209:	5215,83	5209,46.			
Gruppe 5209 — 5195:	5195,22.				
Gruppe 5195 — 5182:					
Gruppe 5182 — 5168:	5181,96	5168,65.			
Gruppe 5168 — 5156:	5161,45	5156,16.			
Gruppe 5156 — 5145:	5144,71.				

Funkenspectrum: Salet, Spectroscopie, Paris 1888. Compt. rend. 74, 1249; 75, 76. Ann. ch. phys. [4] 28, 29. Andere Beobachter: Plücker, Pogg. Ann. 107, 638 (1859). Wüllner, Ebend. 120, 158. Mitscherlich, Ebend. 121, 474. Plücker u. Hittorf, Phil. Trans. 155, 24. Ciamician, Wien. Ber. 78 [2], S. 877.

Absorptionsspectrum: 1. Joddampf: Hasselberg, Mém. de l'Acad. St. Pétersb. [7] 36, 1888. Andere Beobachter: Daniell u. Miller, Pogg. Ann. 28, 386. Morghen, Beiblätter 8, 822. Thalén, Le spectre d'absorption de la vapeur d'Jode, Upsal. 1869. 2. Lösungen: H. W. Vogel, Ber. 11, 919. Monatsber. Berl. Akad. 1878, S. 417. Gernez, Compt. rend. 74, 466.

Kalium.

Die Kaliumverbindungen werden von der Flamme des Bunsen'schen Brenners leicht dissociirt und lassen die Hauptlinien des Metalles erkennen, am leichtesten tritt das bei schwächerer Dispersion als eine Linie erscheinende Linienpaar 7699 und 7665 und die violette Linie 4044 auf.

Lockyer glaubt vom Kalium vier Linien im Sonnenspectrum gefunden zu haben, die übrigen nicht, und schliesst daraus, dass bei der hohen Temperatur der Sonne das Kalium dissociirt sei und jene

vier Linien einem der Grundstoffe angehören, in welche das Kalium zerfalle. Nach den genauen Messungen von Kayser und Runge sind indessen Kaliumlinien nicht im Sonnenspectrum vorhanden, womit die Hypothese Lockyer's entfällt.

Im Ultraroth hat Becquerel drei Linien, 10 980, 11 020 und 12 330, aufgefunden.

Bogen- und Funkenspectrum:

(7699,3	7665,6)†	6938,8	6911,2	5832,23†	5812,54	5802,01†
5782,67†	4047,36	4044,29†	3447,49	3446,49	3217,76	3217,27
3102,37	3102,15	3034,94.				

† erscheinen auch im Flammenspectrum.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1890. Andere Beobachter: Bunsen u. Kirchhoff, Pogg. Ann. **110**, 167. Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Huggins, Phil. Trans. 1864, p. 139. Rutherfurd, Silliman's Journ. [2] **35**, 407. Wolf u. Diacon, Compt. rend. **55**, 334. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] **6** (1868). Salet, Ann. ch. phys. [4] **28**, 56 (1873). Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Lockyer, Proc. Roy. Soc. **27**, 279 (1878). Liveing u. Dewar, Ebend. **28**, 367, 471; **29**, 398. Phil. Trans. **174**, 215 (1883). Becquerel, Compt rend. **96**, 1218; **97**, 72.

Kobalt.

Das Linienspectrum des Kobalts ist, soweit es sich um den sichtbaren Theil handelt, in älterer Zeit mehrfach Gegenstand der Untersuchung gewesen. Kirchhoff, Huggins, Thalén, Lecoq de Boisbaudran und Schuster haben es mit dem Funken, Angström und Thalén mit dem Kohlebogen erzeugt. Kurze Strecken sind auch von Lockyer und von Cornu aufgenommen. Neuere Messungen liegen aber nur über das Bogen- und Funkenspectrum des Ultravioletts in den Beobachtungen von Liveing und Dewar vor.

Das Spectrum des Funkens weicht von dem des Bogens sowohl bezüglich der Zahl der Linien, wie auch hinsichtlich deren Intensität etwas von einander ab.

Die sehr charakteristischen Absorptionsspectren der Kobaltlösungen und des Kobaltglases sind von H. W. Vogel, Russel, Russel und Orsman und von C. H. Wolff untersucht und weiter unten auf der Tafel der Absorptionsspectren abgebildet. Versetzt man nach Wolff eine Lösung von Kobaltchlorid mit Rhodanammon und schüttelt die Lösung mit Amylalkohol und etwas Aether, so geht das Kobaltrhodanid in den letzteren über und bildet ein Absorptionsspectrum, das zu den empfindlichsten Reactionen der Chemie zählt. Wolff benutzt diese Reaction auch zur quantitativen spectrocolorimetrischen Bestimmung kleiner Kobaltmengen. Nach W. J. Russel ist das Absorptionsspectrum des in Salzsäure gelösten Kobaltchlorids von besonderer Schärfe. Wendet man aber starke Salzsäure an, so werden die breiten Bänder, welche man sonst beobachtet, in schmälere Banden aufgelöst, welche fast genau mit denjenigen zusammenfallen,

welche Eisenchlorid bei gleicher Behandlung und Concentration aufweist. Russel glaubt, dass die Körper unter dem Einflusse des Lösungsmittels in einen feineren Zustand übergeführt sind.

Funken- und Bogenspectrum:

6143,8*	6122,3*	5453,1*	5444,0*	5369,1	5353,5	5352,3	5280,6	5266,9
4868,0	4840,1	4814,6	4792,8	4779,8	3998,0	3995,6	3979,4	3941,6
3894,1	3881,7	(3873,9	3873,1)	3845,4	3703,9	(3693,2	3692,8)	3682,9
3627,9	3605,8	3602,4	3595,2	3587,5	3585,5	(3575,7	3575,3)	3569,7
3565,3	3561,3	3550,9	3533,6	3530,0	3526,9	3523,5	3521,5	3520,1
3518,5	3512,6	3506,5	3502,2	3495,7	3489,4	3483,3	3476,8	3474,2
3466,0	3462,9	3453,6	3449,3	3443,7	(3434,0	3433,5)	3432,0	(3413,7
3413,4	3410,3	3406,0	3396,5	3389,3	3388,8	3381,7	3368,3	3356,4
3336,1)	3284,9	3158,6	3154,6	3147,0	3139,9	3137,4	3121,5	3086,7
3082,5	3072,4	3061,9	3049,0	3044,0	2989,5	2986,9	2954,5*	2942,9
2824,9	2648,8	2580,2	2564,0	2541,9	2540,6	2533,8*	2532,1	2530,0
2528,5	2524,9*	2524,6	2521,1	2519,7*	2510,9	2506,2	2497,5	2490,2
2464,1	2436,9	2432,4	2420,7	2417,6	2411,6	2407,5	2397,3	2388,8
2378,5	2363,7	2353,4	2313,9	2311,5	2307,8	2293,4	2286,1	2266,6*
2260,1*	2256,8*	2245,2*.						

* nur im Funkenspectrum.

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6. — Von 3998,0 bis 2244,8: Liveing u. Dewar, Phil. Trans. **179**, 231 (1888). Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Huggins, Phil. Trans. 1864, 139. Angström, Recherches sur le spectre solaire 1868. Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Lockyer, Phil. Trans. 1881, Th. 3. Cornu, Spectre normal du soleil, Paris 1881.

Absorptionsspectrum: H. W. Vogel, Ber. **11**, 916. Monatsber. Berl. Akad. 1878, S. 415. Russel, Proc. Roy. Soc. **31**, 51; Ber. **14**, 503. Russel u. Orsman, Chem. Soc. J. 1889, p. 14; Ber. **24**, 619. Wolff, Zeitschr. anal. Chem. **18**, 38. Etard, Compt. rend. **120**, 1057 (1895).

Kohlenstoff.

Der Kohlenstoff ist mehr als irgend ein anderes Element Gegenstand der Untersuchung gewesen. Die spectroskopischen Erscheinungen sind ausserordentlich mannigfaltig und verwickelt. Man nimmt allgemein an, dass der Kohlenstoff neben dem Linienspectrum ein Bandenspectrum erzeugt. Ersteres entsteht, wenn starke Flaschenfunken durch Kohlensäure oder Kohlenoxydgas überspringen; es ist im sichtbaren Theile von Angström und Thalén, im ultravioletten von Liveing und Dewar untersucht worden.

Das Bandenspectrum, welches auch Flammenspectrum und Swan'sches Spectrum genannt wird, wurde zuerst 1802 von Wollaston beobachtet und dann in den 1850er Jahren von Swan einer eingehenden Untersuchung unterzogen. Swan, Angström und Thalén und anfangs auch Liveing und Dewar schrieben es den Kohlenwasserstoffen zu, Attfield, Morren, Dibbits, sowie später auch Liveing und Dewar, nachdem sie reines Cyangas in trockenem Sauerstoff zur Verbrennung gebracht, dem Kohlenstoff. Dieses Banden-

spectrum besteht aus fünf zusammengesetzten Banden, deren Wellenlängen nach Angström und Thalén und nach Watts sind:

1. oder orange Bande	2. oder grüngelbe Bande	3. oder grüne Bande	4. oder blaue Bande	5. oder indigo Bande
6187 — 5954	5633 — 5425	5164 — 5082	4736 — 4677	4381 — 4232.

Die drei mittleren Banden sind in neuerer Zeit von Fiévez, die grüne auch von Kayser und Runge gemessen; bezüglich der beiden anderen sind nur ältere Beobachtungen von Watts, Angström und Thalén und von Piazzi-Smyth vorhanden.

Ausser diesen Banden sind im Kohlebogenlicht noch weitere im Blau, Violett und Ultraviolett, welche sehr häufig neben den obigen auftreten. Die Wellenlängen dieser Banden sind:

I. Bande	II. Bande	III. Bande	IV. Bande	V. Bande
4600 — 4500	4290 — 4150	3884 — 3850	3590 — 3550	3370 — 3350,

doch wird die Existenz der letzten im Kohlebogen von Kayser und Runge bezweifelt.

Diese Banden werden namentlich von Liveing und Dewar dem Cyan zugeschrieben, während Andere, z. B. Lockyer und H. W. Vogel, sie für ein höherer Temperatur angehörendes zweites Bandenspectrum der Kohle selbst halten. Diese Ansicht hat auch früher Kayser vertreten, doch haben in Gemeinschaft mit Runge angestellte Versuche ihn zur anderen Annahme geführt. Die Genannten liessen dem Bogenlicht in geeigneter Weise einen kräftigen Strom von Kohlensäure zuströmen, wodurch die Cyanbanden erst verblassten, dann verschwanden. Liessen sie, um auszuschliessen, dass diese Wirkung auf die Temperaturerniedrigung durch den starken Gasstrom zurückgeführt werde, statt desselben einen noch stärkeren Luftstrom zutreten, so traten in Folge des reichlich zugeführten Stickstoffes die Banden noch heller auf als zu Anfang.

Für die Annahme, dass die Cyanbanden lediglich dem Kohlenstoff zukommen, sprach die Beobachtung, dass die Cyanbanden, welche mit den von den Kometen gezeigten Banden übereinstimmen, auch im Sonnenspectrum vorkommen. Dies wurde lange bezweifelt, muss aber nach den Untersuchungen Rowland's zugestanden werden. Es besteht daher die merkwürdige Thatsache, dass in der heissen Sonne das Spectrum einer Verbindung vorhanden ist, welche schon bei einigen 1000° dissociirt wird. Dem gegenüber weisen aber Kayser und Runge, darauf hin, dass das Kohlenstoffmolekül, wie die Veränderlichkeit der Atomwärme zeigt, ein variables Gebilde ist, und es möglich wäre, dass noch bei sehr hoher Temperatur eine Kohlenstickstoffverbindung existirt, die wir nicht kennen und deren Spectrum die Cyanbanden sind.

Die Cyanbanden sind von Liveing und Dewar, die dritte, vierte und fünfte auch von Kayser und Runge gemessen.

Die Kohlenstoffbanden kehren sämmtlich ihre hellste Kante dem rothen Ende des Spectrums zu; jede Bande besitzt mehrere Kanten,

3 bis 7, die nach dem violetten Ende zu schwächer werden. Die Linien erstrecken sich von der ersten Kante jeder Bande bis zum Beginn der nächsten Bande, so dass keine Stelle des Spectrums von 620 $\mu\mu$ bis 340 $\mu\mu$ ohne Kohlelinien ist, deren es mindestens 10 000 giebt. Da bei der Erzeugung von Metallspectren mit Hülfe des Kohlebogens die Kohlebanden sich über Metalllinien legen, so ist eine Kenntniss dieser Banden von Wichtigkeit.

Linienspectrum: 6584,0 6578,5 5695,1 5661,9 4647,5 5145,0 4266,6 3920,0 2837,2 2836,3 2746,5 2511,9 2509,0 2478,3 2296,5.

Angström u. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 9 (1875). Von W. L. 3920 bis 2266,5: Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 30, 152, 494 (1880); 33, 403 (1882); 34, 123 (1883). Phil. Trans. 174, 187 (1882). Eder u. Valenta, Denkschr. Wiener Akad. 60 (1893).

Bandenspectrum:

I. Orange Bande 6187 — 5954: 6188,2 6119,9 6057,3 6001,8 5954,5.

II. Grüngelbe Bande:

1. Kante:	5635,3	5634,3	5633,9	5633,4	5632,9	5632,2	5631,6
	5630,9	5630,1	5629,3	5628,5	5627,6	5626,7	5625,8
	5624,4	5623,1	5620,4	5619,6	5618,8	5617,8	5615,6
	5613,8	5611,8	5610,1	5608,5	5606,1	5603,5	5600,8
	5598,0	5595,3	5592,5	5589,7	5588,1	5587,4	5585,5.
2. Kante:	5584,4	5582,1	5578,8	5578,5	5578,2	5577,1	5575,5
	5573,2	5572,8	5572,4	5571,1	5570,1	5569,5	5568,3
	5567,2	5566,7	5565,0	5564,3	5563,9	5163,5	5561,4
	5560,5	5560,0	5558,1	5556,3	5556,0	5555,7	5554,1
	5552,9	5552,6	5540,9	(3. Kante).			

Grüne Bande:

1. Kante:	5165,4	5165,2	5164,9	5164,6	5164,5	5163,7	5163,2
	5162,7	5162,5	5162,0	5161,3	5160,5	5160,0	5158,7
	5157,8	5157,3	5156,2	5155,3	5154,5	5154,4	5153,4
	5153,0	5152,6	5152,0	5150,8	5149,2	5147,8	5146,2
	5144,7	5143,0	5141,3	5139,4	5137,7	5135,7	5133,8
	5131,7	5129,7	5129,4.				
2. Kante:	5129,4	5129,3	5129,0	5128,8	5127,8	5127,4	5126,2
	5125,4	5124,9	5123,9	5122,9	5121,8	5121,6	5119,3
	5118,2	5116,8	5115,9	5114,4	5113,2	5111,8	5110,8
	5110,2	5109,2	5108,0	5106,5	5105,5	5103,9	5103,5
	5102,6	5101,0	5099,9	5098,2	5096,9	5095,3	5094,2
	5092,4	5091,6	5091,0	5089,3	5087,6	5087,1	5086,4
	5084,9	5083,1	5081,9	5080,1	5078,5	5076,8	5071,9
	5070,1	5068,8	5066,9	5066,1	5065,1	5063,7	5058,1
	5056,3	5054,8	5052,8	5049,7	5045,4	5041,5	5039,9
	5037,9	(5033,9	5033,7)	5032,2	5030,1	5026,0	5024,1
	5022,1	5017,9	5013,9	5009,6	5005,6	5001,1	4997,0
	4992,5	4988,3	4983,7	4979,4	4974,6	4970,3	4965,4
	4961,0	4956,1	4951,6	4946,5	4886,2	4854,2	4849,0
	4838,0	4809,7	4804,4	4798,4.			

Blaue Bande:

1. Kante:	4737,2	4736,4	4735,9	4735,5	4735,1	4734,6	4734,1
	4733,6	4733,0	4732,4	4732,0	4731,0	4730,0	4729,4
	4728,4	4727,1	4726,2	4725,1	4724,0	4723,6	4722,3
	4721,2	4719,9	4718,8	4717,4	4716,8	4715,4.	

2. Kante:	4715,2	4714,1	4713,3	4711,7	4710,5	4708,6	4707,2
	4706,9	4705,9	4704,0	4702,6	4702,1	4699,9	4699,4
	4698,4	4697,6.					
3. Kante:	4697,2	4695,6	4695,3	4694,2	4693,9	4692,8	4691,2
	4690,7	4689,5	4688,3	4687,4	4686,2	4685,0.	
4. Kante:	4684,7	4683,2	4682,5	4682,0	4681,0	4679,8	4679,5
	4677,6	4675,8	4675,0	4674,1	4673,8	4673,1	4672,8
	4571,8	4671,4	4671,0	4670,4	4669,8	4669,2	4668,6
	4667,7	4666,9	4666,5	4665,6	4664,4	4664,1	4663,0
	4661,3	4659,9	4658,9	4657,9	4657,1	4656,8	4654,6
	4653,7	4652,3	4652,0.				

V. Bande: 4382,0 1. Kante, 4371,4 2. Kante, 4365,1 3. Kante.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1889. Fiévez, Mém. de l'Acad. roy. de Belgique **47** (1885). Andere Beobachter: Wollaston, Phil. Trans. 1802. Swan, Phil. Trans. Edinb. **21**, 411 (1857). Plücker, Pogg. Ann. **105**, 77 (1858); **107**, 533 (1859). Van der Willigen, Ebend. **107**, 473 (1859). Attfield, Phil. Trans. **152**, 221 (1862). Phil. Mag. **49**, 106 (1875). Dibbits, Pogg. Ann. **122**, 497 (1864). Morren, Ann. ch. phys. [4] **4**, 305 (1865). Plücker u. Hittorf, Phil. Trans. **155**, 1; Jahresber. 1864, S. 110. Huggins, Phil. Trans. **158**, 558 (1868). Lielegg, Wien. Ber. **52** 593 (1868). Watts, Phil. Mag. [4] **38**, 249 (1869); **45**, 12; **48**, 369, 456 (1874); **49**, 104 (1875). Troost u. Hauteuille, Compt. rend. **73**, 620 (1871). Wüllner, Pogg. Ann. **144**, 481 (1872). Salet, Ann. ch. phys. [4] **28**, 60 (1873). Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Angström u. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. **9** (1875). Lockyer, Proc. Roy. Soc. **28**, 308 (1878); **30**, 335 (1880). Wesendonck, Inaug.-Diss., Berlin 1881. Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. **30**, 152, 494 (1880); **33**, 403 (1882); **34**, 123 (1883); Phil. Trans. **174**, 187 (1882). Piazzi-Smyth, Astr. Obs. Edinb. **13**, 58 (1871); Phil. Mag. [4] **49**, 24 (1875); [5] **8**, 107 (1879). Phil. Trans. Edinb. **30**, 93. Hartley, Brit. Assoc. Rep. 1883. Eder, Denkschr. Wiener Akad. **57** (1890).

Cyan.

I. Bande:

4601 4575 4551 4533 4516 4506 4501.

II. Bande:

1. Kante:	4216,17	4215,67	4215,31	4215,04	4214,76	4214,08
	4213,71	4213,29	4212,85	4212,39	4211,90	4211,37
	4211,03	4210,82	4210,23	4209,62	4208,98	4208,29
	4207,59	4206,85	4206,08	4205,30	4204,46	4203,61
	4202,70	4202,17	4200,85	4198,85	4197,82	4197,29.
2. Kante:	4197,29	4196,10	4193,08	4191,51	4190,30	4189,68
	4189,07	4185,89	4185,09	4182,44	4181,52	4181,03.
3. Kante:	4178,01	4177,53	4175,04	4171,87	4167,82.	
4. Kante:	4165,54	4165,24	4163,54	4161,80	4161,43	4160,01.
5. Kante:	4158,22.					
6. Kante:	4152,93	4149,31	4146,06	4143,12	4140,94	4140,34
	4137,44	4133,81	4133,44	4131,24	4128,19	4126,72
	4124,30	4122,35	4119,48	4114,20	4110,04	4106,78
	4102,89	4099,27	4097,04	4092,98	4090,95	4090,25
	4087,93	4083,31	4077,89	4076,06	4073,74	4069,38
	4053,40	4051,05	4034,61.			

III. Bande:

1. Kante:	3883,60	3880,63	3880,26	3879,90	3879,50	3879,08
	3878,65	3676,12	3874,37	3873,17	3872,93	3872,42.

2. Kante:	3871,59	3870,32	3870,12	3866,18	3864,49	3863,57
	3862,69	3862,03.				
3. Kante:	3861,91	3860,83	3859,85	3858,86	3857,87	3856,87
	3855,81.					
4. Kante:	3855,06	3852,59	3851,46	3850,35	3849,19	3848,03
	3845,63	3845,06	3844,40	3843,17	3841,91	3840,63
	3834,00	3839,34	3838,02	3836,69	3835,34	3833,98
	3832,60	3832,01	3831,20	3830,80	3829,79	3828,36
	3826,89	3825,45	3823,95	3822,48	3821,93	3820,94
	3819,41	3817,84	3816,29	3814,72	3811,49	3809,87
	3808,53	3806,56	3804,86	3803,21	3801,48	3800,19
	3799,78	3798,05	3797,07	3796,28	3793,89	3792,75
	3792,27	3787,32	3783,65	3781,80	3779,92	3778,03
	3777,23	5776,12	3775,40	3774,21	3773,65	3772,29
	3771,92	3768,42	3764,46	3762,46	3761,13	3760,47
	3758,45	3756,45	3752,38	3746,19	3744,11	3742,00
	3739,90	3738,55	3736,62	3733,54	3731,41	3729,25
	3728,86	3727,11	3724,95	3722,78	3720,60	3720,12
	3718,42	3716,23	3714,03	3713,06	3711,85	3709,65
	3705,15	3702,96	3700,75	3698,52	3697,16	3696,28
	3694,05	3691,79	3689,55	3685,05	3682,82	3681,37
	3680,55	3679,40	3678,30	3676,05	3673,79	3671,54
	3669,78	3669,30	3667,04	3664,81	3662,57	3662,26
	3658,09	3655,86	3653,66	3651,45	3648,03	3644,30
	3642,67	3641,15	3640,50	3638,33	3637,31	3636,39
	3635,24	3633,09	3631,65	3629,35	3624,22	3619,17
	3607,92	3607,44	3606,98	3606,51	3606,05	3605,60
	2605,13	3604,73	3604,27	3602,95	3597,89	3594,30
	3593,86	3593,44.				
IV. Bande:						
1. Kante:	3590,52.					
2. Kante:	3585,99.					
3. Kante:	3584,10	3583,38	3582,01	3581,76	3580,39	3580,07
	3579,26	3578,93	3578,62	3578,28	3577,23	3576,88
	3576,48	3575,73	3575,13	3574,50	3573,87	3572,60
	3571,93	3571,27	3570,59	3569,96	3569,89	3569,17
	3568,44	3567,53	3567,02	3566,93	3566,27	3564,95
	3563,96	3561,60	3561,42	3560,75	3557,34	3556,13
	3554,48	3553,72	3552,86	3549,11	3548,67	3548,36
	3545,92	3545,11	3540,53	3540,10	3537,66	3534,75
	3530,35	3528,75	3527,74	3524,70	3524,51	3523,51
	3520,01	3517,16	3512,79	3511,65	3510,38	3509,48
	3506,65	3503,83	3501,67	3497,21.		

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1889. Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. **30**, 494; **33**, 403; **34**, 123. Andere Beobachter: Fox-Talbot, Phil. Mag. [3] **4**, 114. Draper, Ebend. [3] **32**, 108 (1848). Dibbits, De Spectraal Analyse 1863. Pogg. Ann. **122**, 497 (1864). Morren, Ann. ch. phys. [4] **4**, 305 (1865). Plücker u. Hittorf, Phil. Trans. **155**, 1. Jahresber. 1864, S. 110. A. Mitscherlich, Pogg. Ann. **121**, 459. Watts, Phil. Mag. [4] **38**, 249 (1868); **41**, 12 (1871). Wüllner, Pogg. Ann. **144**, 517 (1871). Lockyer, Proc. Roy. Soc. **27**, 308. Ciamician, Wien. Ber. 1880. Wesendonck, Wied. Ann. N. F. **17**, 427 (1881). A. S. Herschell, Phil. Trans. Edinb. **30**, 154. Thalén, Le spectre du fer (1884). Deslandres, Ann. ch. phys. [6] **14**, 5 (1888).

Kohlenoxyd.

6079	5609	5198 b^r	5187,5	5184,5	5182,5	5179,5
5176,0	5173,5	5170	5167,2	4834,5 b^r	4823,5 b	4821,3 b
4819,1 b	4817,0 b	(4789,8 b	4786,5 b)	4509,8 b^r	4394,7 b^r	(A. u. Th.)
3493,3 b^r	3307,5 b^r	3134,6 b^r	2976,3 b^r	3832,0 b^r	2792,7 b^r	2665,1 b^r
2599,0 b^v	2510,8 b^v	2435,0 b^v	2425,0 b^v	2404,7 b^v	2394,0 b^v	2381,5 b^v
2364,8 b^v	2337,7 b^v	2311,4 b^v	2286,2 b^v	2220 b^v	2215,3 b^v	2188,1 b^v
2172,3 b^v	2161,6 b^v	2149,9 b^v	2127,8 b^r	2112,7 b^v	2089,3 b^r	2066,8 b^v

(Deslandres).

b^r: Bande nach Roth scharf begrenzt, nach Violett abschattirt.
b^v: Bande nach Violett scharf begrenzt, nach Roth abschattirt.

Angström u. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. 9 (1875). Deslandres, Ann. ch. phys. [6] 14, 5, 257 (1888). Andere Beobachter: Plücker, Pogg. Ann. 105, 77 (1858); 107, 533 (1859). Wüllner, Ebend. 144, 481 (1872). Angström, Ebend. 94, 141. Watts, Phil. Mag. [4] 38, 249 (1869); 41, 12. Wesendonck, Wied. Ann. N. F. 17, 427 (1881). Thollon, Ann. ch. phys. [5] 25, 287 (1881). Piazzi-Smyth, Phil. Trans. Edinb. 30, 94. Phil. Mag. [4] 49, 24. A. S. Herschell, Phil. Trans. Edinb. 30, 152.

Kupfer.

Das Funkenspectrum des Kupfers ist von Kirchhoff, Thalén und von Lecoq de Boisbaudran im sichtbaren Theile bis zur W. L. 4275 gemessen worden, im ultravioletten von Hartley und Adeney zwischen 3999 und 2103, von Trowbridge und Sabine zwischen 2369 und 1944.

Das Bogenspectrum ist von Liveing und Dewar von 2294 bis 2135 photographirt, in neuester Zeit von Kayser und Runge von 6000 bis 1944. Die Letzteren haben 304 Kupferlinien gemessen. Das Spectrum wurde erzeugt, indem die Kohlenstäbe der Lampe durch Kupferstäbe von 1 bis 2 qcm Querschnitt ersetzt wurden.

Die Kupferlinien sind fast sämmtlich unscharf, meist nach beiden Seiten hin, so dass das Kupferspectrum ein merkwürdig verwaschenes Aussehen besitzt.

Kupferchlorid erzeugt in der Bunsenflamme ein Flammenspectrum, bestehend in Banden, welche sich mit Ausschluss des Violetts über alle Theile des sichtbaren Spectrums erstrecken. Kupfer bringt das Spectrum hervor, wenn man es mit Salzsäuredämpfen der Flamme zuführt.

Die Absorptionsspectra der Kupferlösungen sind wenig charakteristisch, da sie fast sämmtlich zweiseitig sind, d. h. das rothe und violette Ende des Spectrums auslöschen. Ewan hat gefunden, dass die Spectra der wässerigen Lösungen des Chlorids, Sulfats und Nitrats sich beim Verdünnen ändern, und zwar bei grosser Verdünnung identisch zu werden streben, was mit der Hypothese der elektrolytischen Dissociation im Einklange steht.

Ein spectrocolorimetrisches Verfahren zur quantitativen Bestimmung kleiner Kupfermengen ist von C. H. Wolff angegeben.

Die Absorptionsspectra verschiedener Lösungen von Kupferbromid sind von P. Sabatier untersucht.

Bogen- und Funkenspectrum:

5782,30	5700,39	5292,75	5220,25	5218,45	5153,33	5105,75	4704,77
4674,98	4651,31	4587,19	4539,98	4531,04	4507,62	4480,59	4415,79
4378,40	4275,32	4259,63	4062,94	4022,83	3602,11	3599,20	3512,19
3450,47	3308,10	3290,62	3274,06	3247,65	3126,22	3108,64	3063,50
3036,17	2961,25	2766,50	2618,46	2492,22	2441,72	2406,82	2392,71
2370,5*	2369,97	2303,18	2293,92	2263,20	2230,16	2227,85	2225,77
2214,68	2199,77	2178,97	2165,20	2104,88	2025,14	1943,88.	

* nur im Funkenspectrum; Hartley u. Adeney.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1892. Andere Beobachter: Kirchhoff, Ebend. 1861. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. 6 (1868). Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. **24**, 402 (1879). Phil. Trans. **174**, 205 (1883). Hartley u. Adeney, Ebend. **175**, 63 (1883). Trowbridge u. Sabine, Proc. Amer. Academy 1888. Phil. Mag. [5] **26**, 342.

Absorptionsspectrum: Glan, Wied. Ann. **3**, 65 (1878). Ewan, Phil. Mag. 1892, S. 317; Ber. **25**, 492 c. Proc. Roy. Soc. **57**, 128 (1895). Wolff, Zeitschr. anal. Chem. **18**, 38. Krüss, Colorimetrie, Hamburg 1891. P. Sabatier, Compt. rend. **118**, 1042, 1144. Ber. **27**, 489, 490.

Kupferchlorid.

Flammenspectrum:

6619 b	6268 b^v	6151 b^v	6051 b^v	5564 b	5507	5440	5386	5306 b
5270 b	5240	5088 b^v	5050 b^v	4984 b^v	4946 b^v	4883 b^v	4848 b^v	4793 b^v
4580 b^v	4523 b^v	4497 b^v	4437 b^v	4413 b^v	4354 b^v	4332 b^v	4282 b^v	4261 b^v.

Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Andere Beobachter: Diacon, Ann. ch. phys [4] 6, 5 (1865). A. Mitscherlich, Pogg. Ann. **116**, 499; **121**, 459 (1863).

Lanthan.

Das Funkenspectrum des Lanthans ist reich an Linien, welche von Kirchhoff und von Thalén gemessen sind.

Funkenspectrum:

6393,5	6250,0	5974,0	5930,0	5805,5	5795,0	5791,5	5788,0	5770,0
5674,0	5632,0	5588,0	5501,5	5455,5	5381,0	5381,5	5376,5	5340,5
5303,5	5302,8	5302,0	5188,5	5183,5	5176,5	5123,0	4526,5	4525,0
4523,0	4431,0	4428,0	4385,0	4383	4330,5	4322,5	4295,5	4286,5
4268,5	4263,5	4238,5	4235,5	4217,0	4196,5	4192,0	4152,0	4142,5
4122,0	4086,5	4077,0	4042,5	4031,5	3947,0.			

Thalén, Kongl. Svenska Vetensk. Akad. Handl. **12**, Nr. 4 (1874). Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Bunsen, Pogg. Ann. **155**, 366. Cleve, Compt. rend. **95**, 33.

Lithium.

Die Lithiumsalze werden in der Flamme des Bunsenbrenners dissociirt und lassen zwei Metalllinien (vergl. Spectraltafel) erkennen, eine

schärfere tief rothe 6708,2 und eine minder starke orange 6103,8. Im Funken- und Bogenspectrum treten noch weitere Linien auf. Kayser und Runge haben im Ganzen 18 Linien aufgefunden, zu denen noch zwei im Ultraviolett kommen, welche Liveing und Dewar beobachtet, Kayser und Runge aber wegen zu grosser Lichtschwäche nicht erhalten haben.

Bogen- und Funkenspectrum:

6708,2* 6103,77* 4972,11 4602,37 4132,44 3915,2 3232,77 2741,39

* auch im Flammenspectrum der Lithiumsalze.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1890. Andere Beobachter. Kirchhoff u. Bunsen, Pogg. Ann. **110**, 167. Kirchhoff, Abhandl: Berl. Akad. 1861. Huggins, Phil. Trans. 1864, p. 139. Müller, Pogg. Ann. **118**, 641. Ketteler, Ebend. **104**, 390. Rühlmann, Ebend. **132**, 1. Wolf u. Diacon, Compt. rend. **55**, 334. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] **6**, 1868. Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. **28**, 367, 471; **30**, 93 (1880); Phil. Trans. **174**, 215 (1883).

Magnesium.

Wie die Literaturübersicht zeigt, ist das Spectrum des Magnesiums Gegenstand zahlreicher eingehenden Untersuchungen gewesen. Es wurde erzeugt, indem man entweder das Metall in Luft verbrennen liess, oder es wurde mit dem Inductionsfunken, der zwischen Metallelektroden oder zur Lösung eines Magnesiasalzes übersprang, hervorgebracht, oder dadurch, dass man das Metall im Kohlebogen verbrannte. Liveing und Dewar, welche das Magnesiumspectrum der Flamme, des Kohlebogens und des Funkens untersuchten, wobei sich das Metall zum Theil noch in verschiedenen Gasen befand, wiesen nach, dass in allen Fällen das Spectrum ganz dasselbe ist, wenn auch einzelne Linien im Funkenspectrum stärker hervortreten. Sie beobachteten ferner eine Reihe nach Violett abschattirter Oxydbanden von λ 5006 bis 4934 und von 3865 bis 3720, sowie wahrscheinlich eine im Knallgasgebläse erscheinende Bande 3634 bis 3621. Auch fanden sie, dass beim Verbrennen von Magnesium in Wasserstoff sich eine Verbindung von Magnesium und Wasserstoff bildet, welche ein Bandenspectrum von 5618 bis 4803 hervorbringt.

In neuester Zeit haben Kayser und Runge das durch Einbringen von Magnesiumpulver oder -draht in den Kohlebogen erzeugte Bogenspectrum des Magnesiums genau gemessen, wobei sie nie Spuren von den Oxyd- oder Wasserstoffbanden beobachteten. Erstere waren aber kräftig erschienen, als sie Magnesiumdraht in Luft verbrannten.

Becquerel hat im Bogenspectrum die folgenden infrarothen Linien gefunden: 8990, 10470, 12000 und 12120.

Die Flamme des Bunsenbrenners reicht zur Dissociation der Verbindungen nicht aus.

Funken- und Bogenspectrum:

5528,75	5183,84*	5172,87*	5167,55*	4703,33	4571,33*	4352,18	3838,44
3832,46*	3829,51*	3336,83	3332,28	3330,08	3097,06	3093,14	3091,18
2942,21	2938,67	2852,22*	2802,80	2795,63	2783,08	2781,53	2779,94
2778,36	2776,80.						

* auch im Flammenspectrum sichtbar (Liveing und Dewar).

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1891. Andere Beobachter: Kirchhoff, Ebend. 1861. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. 6 (1868). Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Cornu, Spectre normal du soleil, Paris 1881. Bunsen, Pogg. Ann. 155, 366. Fiévez, Bull. de l'Acad. R. de Belgique [2] 1, 91 (1880). Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 28, 367; 30, 93; 32, 189. Phil. Trans. 174, 208 (1883). Hartley u. Adeney, Ebend. 175, 95 (1884). Becquerel, Compt. rend. 96, 1218; 97, 72.

Magnesiumhydroxyd.

Nach Roth verlaufende Banden: 5619 5567 5514 5513 5512 5211 5181 4850 4804.

Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 28, 367; 30, 93; 32, 189.

Magnesiumoxyd.

Nach Roth verlaufende Banden: 5001 4991 4981 4970.

Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 28, 367; 30, 93; 32, 189.

Mangan.

Das Funkenspectrum des Mangans ist von Huggins und von Thalén gemessen, das Bogenspectrum von Angström, Thalén und theilweise von Lockyer und von Cornu. Die beiden Spectren zeigen eine Verschiedenheit. Neuere Aufnahmen liegen nicht vor.

Das Oxydspectrum, welches von Watts untersucht worden ist, spielt in der Eisentechnik eine Rolle, indem es in der Bessemerflamme (s. Eisen) so lange sichtbar ist, bis sich die Entkohlung des Eisens vollzogen hat. Die Ursache, warum dieses Spectrum gerade dann verschwindet, wenn aller Kohlenstoff verbrannt ist, liegt nach Watts vielleicht darin, dass nun die schädliche Oxydation des Eisens beginnt und die Menge des Mangans sich zu sehr vermindert hat, um sich mit dem Sauerstoff zu verbinden.

Von den Absorptionsspectren der Manganverbindungen ist das des Kaliumpermanganats in hohem Grade charakteristisch. Es ist von Gladstone, Brewster und H. W. Vogel untersucht. Das Spectrum der Lösung ist nach Letzterem dem des festen Salzes ähnlich, aber nicht gleich; dasjenige des Manganats weicht wesentlich davon ab. (Vergl. weiter unten die Tafel der Absorptionsspectra.)

Bezüglich der quantitativen Gehaltsermittelung von Kaliumpermanganatlösungen auf spectrocolorimetrischem Wege wird auf das Werk

von G. und H. Krüss über Colorimetrie und quantitative Spectralanalyse verwiesen.

6022,0	6016,9	6013,7	5420,6*	5413,5*	5377,7*	5341,3*	4823,7	4783,6
4765,9	4762,3	4754,2	4739,2	4730,0	4727,6	4710,0	4671,6†	4626,4†
4607,4†	4605,6†	4548,9†	4502,3	4499,0	4490,2	4473,1	4470,1	4464,9
4462,1	4461,3	4458,3	4457,5	4456,0	4455,4	(4455,1†	4454,9†)	4451,8
4436,3	4414,9	4382,2†	4375,1†	4337,6†	4325,9†	4284,5†	4281,3	4272,2†
4266,3	(4260,9	4258)	4235,4	4227,6	4083,8	4080,3	4055,0	4048,9
4041,3	4033,2	4030,9.						

* nur im Funkenspectrum; † nur im Bogenspectrum beobachtet (Thalén).

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6, 1868. Le spectre du fer 1884. Andere Beobachter: Huggins, Phil. Trans. 1864, p. 139. Angström, Recherches sur le spectre solaire, Upsal. 1868. Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Lockyer, Phil. Trans. 163, 270 (1873). Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 29, 402 (1879). Cornu, Spectre normal du soleil, Paris 1881. Hartley, Proc. Roy. Soc. 56, 192 (1894).

Absorptionsspectrum der Salze: Gladstone, Chem. Soc. J. 10, 79. Phil. Mag. [4] 24, 417. Brewster, Ebend. [4] 24, 441. H. W. Vogel, Ber. 11, 916. Monatsber. Berl. Akad. 1878 S. 412.

Manganoxyd.

Funkenspectrum:

6235	6205b	6186	6179b	5933	5848b	5689	5684	5645b	5608b
5580	5434	5424b	5396	5392b	5360b	5230b	5193b	5158b.	

Watts, Phil. Mag. [4] 45, 81. Anderer Beobachter: Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874.

Molybdän.

Das Spectrum des Molybdäns ist noch nicht eingehend studirt worden. Thalén hat das mit Hülfe von Flaschenfunken erzeugte Funkenspectrum im sichtbaren Theile untersucht; Lockyer ausserdem etwa 35 Bogenlinien zwischen 4000 und 3900 gemessen. Auch hat W. A. Miller ultraviolette Linien photographirt, ohne ihre Position zu bestimmen.

Funkenspectrum: 6030,2 5888,6 5857,6 5792,0 5751,2 5688,6
5570,2 5532,6 5506,1 4278,3.

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6, 1868. Andere Beobachter: W. A. Miller, Phil. Trans. 152, 861 (1862). Lockyer, Ebend. 173, 561. Proc. Roy. Soc. 27, 280.

Natrium.

Von den Natriumlinien erscheinen einige ausserordentlich leicht, insbesondere die *D*-Linien und die ersten ultravioletten. Die *D*-Linien, welche bei schwacher Dispersion zu einer einzigen Linie zusammenfallen, werden schon von den Kochsalztheilchen hervorgerufen, welche überall der Luft beigemengt sind. Dieser Umstand hat in der Entwickelung der Spectralanalyse eine Rolle gespielt, indem man lange für das Auftreten der Linien keine Erklärung fand, bis Swan 1856 den

Thatbestand klarlegte. Später war die Umkehrung der Natriumlinie die erste Beobachtung, welche zu dem Kirchhoff'schen Gesetz führte, das zur Grundlage der Spectralanalyse geworden ist.

8200,3	8188,3	6160,97	6154,43	[D_1] 5896,16*	[D_2] 5890,19*	5688,43
5682,86	5153,72	5149,19	4983,53	4979,30	3303,07	3302,47
2852,91	2680,46.					

* auch im Flammenspectrum sichtbar.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1890. Andere Beobachter: Swan, Phil. Trans. Roy. Soc. Edinb. 21 (1857). Bunsen u. Kirchhoff, Pogg. Ann. 110, 167. Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Attfield, Phil. Trans. 1862, 221. Huggins, Ebend. 1864, p. 139. Rutherfurd, Silliman's Journ. [2] 35, 407. Wolf u. Diacon, Compt. rend 55, 334. Müller, Pogg. Ann. 118, 641. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Lockyer, Proc. Roy. Soc. 29, 140 (1879). Cornu, Spectre normal du soleil, Paris 1881. Bunsen Pogg. Ann. 155, 366. Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 28, 367, 471; 29, 398, 402 (1879). Becquerel, Compt. rend. 94, 1218; 97, 72.

Nickel.

Zur Herstellung des Linienspectrums hat Thalén den Funken zwischen Nickelelektroden, Lecoq de Boibausdran ihn zu einer Chloridlösung überschlagen lassen. Beide haben, wie auch Kirchhoff, nur das sichtbare Spectrum berücksichtigt. Ein Gleiches that Angström bezüglich des Bogenspectrums. Ausser ihnen haben sowohl Cornu wie Lockyer und in neuerer Zeit namentlich Liveing und Dewar einzelne Strecken, insbesondere die ultravioletten, gemessen.

Eine eingehende Untersuchung des ganzen Spectrums steht noch aus.

Das Absorptionsspectrum gelöster Nickelsalze ist wenig charakteristisch. Die meisten Verbindungen bewirken eine zweiseitige Auslöschung.

6177,0	5893,1	5477,1	5035,4	5017,3	4936,2	4918,6	4904,9	4873,9
4866,3	4855,8	4786,9	4714,6	3858,5	3807,2	3775,6	3769,5*	3737,0
3722,7	3619,6	3612,9	3610,6	3597,8	3576,9*	3572,0	3566,5	3548,3
3524,5	3519,7	3515,0	3513,9*	3510,3	3501,0	3492,9	3483,9	3472,7
3461,8	3458,7	3453,0	3446,4	3437,8	3434,1	3424,2	3415,5	3415,1
3414,6	3408,3	3394,1	3392,1	3381,7	3375,0	3370,6	3362,6	3321,9
3317,3	3244,5	3236,0	3234,4	3197,4	3179,6	3134,0	3101,99	3101,67
3087,0*	3080,7	3064,6	3057,6*	3054,3	3050,8	3037,9	3019,2*	3011,9
3003,6	3002,5	2994,5	2992,6	2981,6	2943,9	2936,7*	2928,8*	2913,6
2865,5†	2863,7*	2821,2	2805,4	2684,4*	2679,2*	2647,2	2639,9*	2615,3*
2610,0*	2545,8	2511,0	2506,3*	2484,0	2473,2	2454,1	2441,9	2437,9
2421,2	2416,4	2413,2	2394,7	2394,4	2393,0	2382,2	2375,4	2356,3
2345,1	2341,1*	2334,5	2330,0	2326,4	2325,9	2321,4	2319,7	2318,4*
2316,0	2314,0	2312,2	2311,0	2303,7	2302,9*	2302,4*	2296,6*	2287,8
2287,2	2278,8	2278,2	2274,5	2270,3	2264,5	2258,0	2256,1	2255,1
2253,9	2244,8	2230,0	2226,2	2224,7	2222,7	2220,2	2216,2	2210,2
2206,5	2205,6	2201,2	2184,6	2174,8	2174,2.			

* nur im Funken. † nur im Bogen.

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6, 1868. Liveing u. Dewar, Phil. Trans. 179, 231 (1888). Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl.

Akad. 1861. Angström, Recherches sur le spectre solaire. Upsala 1868. Lockyer, Phil. Trans. 163, 369; 173, 561. Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Cornu, Spectre normal du soleil, Paris 1881.

Absorptionsspectra: H. W. Vogel, Ber. 8, 1537 (1875).

Niob.

Thalén hat vergeblich versucht, die lichtschwachen Linien zu messen.

Osmium.

Thalén hat vom Spectrum des Osmiums nur eine einzige Linie angegeben, Huggins hat ausserdem im sichtbaren Theile 17 schwache Linien beobachtet, Lockyer zwischen 4000 und 3900 weitere vier.

Funkenspectrum: 4422,7.

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6, 1868. Andere Beobachter: Huggins, Phil. Trans. 1864, p. 139. Fraser, Chem. News 8, 34. Lockyer, Phil. Trans. 173, 561 (1881).

Palladium.

Das Funkenspectrum des Palladiums erhält man mit Hülfe starker Flaschenfunken, wenn man Metallelektroden anwendet oder den Funken zur Chloridlösung überspringen lässt. Die vorhandenen Messungen beziehen sich nur auf den sichtbaren Theil desselben; ultraviolette Linien sind von Hartley photographirt.

Funkenspectrum:	5695,1	5669,1	5641,1	5619,1	5547,2	5543,2
	5395,1	5296,1	5234,7	5164,1	5117,4	5110,9
	4875,5	4818,1	4788,1	4474,4	4213,1.	

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Huggins, Phil. Trans. 1864, p. 139. Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Lockyer, Phil. Trans. 173, 561 (1881). Hartley, Phil. Trans. Dublin. [2] 1 (1882).

Phosphor.

Bekannt sind ein Linienspectrum, welches Funken, die durch eine mit Phosphordämpfen erfüllte Geissler'sche Röhre hindurchschlagen, erzeugen, und ein Bandenspectrum, das von einer Wasserstoffflamme, der Phosphordämpfe beigemischt sind, geliefert wird. Die Banden treten klarer hervor, wenn man die Flamme abkühlt. Zu dem Zwecke lässt man sie gegen eine Metallplatte brennen, welche an ihrer Rückseite durch einen Wasserstrahl kühl gehalten wird.

Linienspectrum:	6506	6058	6033	5421	5403	5382	5338	5307
	5285	5244	4601	4589 (Pl. u. H.).				

Bandenspectrum: 5995b^r 5606b 5264b^r 5107b (L. d. B.)

b^r Banden nach Roth scharf begrenzt, nach Violett abschattirt.

Plücker u. Hittorf (Liniensp.), Phil. Trans. 155, 24 (1865). Lecoq de Boisbaudran (Bandensp.), Spectres lumineux, Paris 1874. Andere Beob-

achter: Seguin, Compt. rend. 53, 1272 (1861). Salet, Ann. ch. phys. [4] 28, 56 (1873). Christofle u. Beilstein, Compt. rend. 56, 399 (1863). Mulder, J. pr. Chem. 91, 111 (1864). Lockyer, Proc. Roy. Soc. 22, 374 (1874). Hofmann, Pogg. Ann. 147, 92.

Platin.

Die Herstellung des Funkenspectrums erfordert starke Flaschenfunken, die man entweder zwischen Platinelektroden oder zur Lösung des Chlorids übergehen lässt. Gouy erhielt das Platinspectrum, als er Platinchlorür dem Gas des Bunsenbrenners beimischte. Die Messungen von Thalén, Kirchhoff, Huggins und Lecoq de Boisbaudran betreffen nur den sichtbaren Theil. Vom Bogenspectrum hat Lockyer zwölf Linien zwischen W. L. 4000 und 3900 angegeben.

Das Absorptionsspectrum von Platinchloridlösung besteht in einer einseitigen Auslöschung des blauen Endes; Kaliumplatinchloridlösung bringt daneben noch einen verwaschenen Streifen hervor, dessen Mitte bei 486 $\mu\mu$ liegt.

Funkenspectrum:

6523,3	5964,7	5479,0	5476,5	5390,6	5368,6	5302,5	5227,2	5060,4	4932,4
4899,0	4879,9	4852,9	4580,8	4560,3	4552,8	4481,8	4455,0	4448,0	4445,7
4440,7	4435,2	4430,4	4392,0	4291,1.					

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). Hutchins u. Holden, Phil. Mag. [5] 24, 325 (1887). Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Huggins, Phil. Trans. 1864, p. 139. Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Lockyer, Phil. Trans. 173, 561 (1881). Ciamician, Wien. Ber. 76 [2], 499. Gouy, Compt. rend. 85, 439 (1877).

Quecksilber.

Die älteren Beobachter haben das Funkenspectrum bei Atmosphärendruck oder in Geissler'schen Röhren bei niedrigem Druck gemessen. Liveing und Dewar versuchten vergeblich, das Bogenspectrum zu erhalten, was indessen später Kayser und Runge ohne Schwierigkeit gelang.

Bogen- und Funkenspectrum:

6152,6*	5889,1*	5790,49	5769,45	5460,97	4916,41	4358,56	4347,65
4078,05	4046,78	3663,25	3654,94	3650,31	3390,50	3341,70	3131,94
3131,68	3125,78	2967,37	2925,51	2893,67	2759,83	2752,91	2655,29
2653,89	2652,20	2642,70	2576,31	2536,72	2534,89	2464,15	2446,96.

* nur im Funkenspectrum (Thalén).

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1891. Andere Beobachter: Kirchhoff, Ebend. 1861. Huggins, Phil. Trans. 1864, p. 139. Gladstone, Phil. Mag. [4] 20, 249. Plücker, Pogg. Ann. 107, 497. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Liveing u. Dewar, Phil. Trans. 174, 218 (1883). Hartley u. Adeney, Ebend. 175, 136. Pearce, Wied. Ann. 6, 597. H. W. Vogel, Berl. Monatsber. 1879, S. 586. Eder u. Valenta, Denkschr. Wiener Akad. 61, 401 (1894).

Rhodium.

Thalén hat vergeblich versucht, die lichtschwachen Linien zu messen.

Rubidium.

Das Rubidium ist im Jahre 1860 von Bunsen und Kirchhoff durch das Spectroskop entdeckt. Die Salze werden von der Flamme des Bunsen'schen Brenners leicht dissociirt und lassen die auf der Spectraltafel abgebildeten Hauptlinien des Metalles erkennen. Am stärksten treten die beiden violetten Linien 4215 und 4202, sowie die beiden rothen 7811 und 6298 auf.

Bogen- und Funkenspectrum:

7950* 7811* 6298,7* 6206,7* 5724,41* 5648,18* 4215,72* 4201,98* 3591,74 3587,23 3351,03 3348,86.

* auch im Flammenspectrum sichtbar.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1890. Andere Beobachter: Bunsen u. Kirchhoff, Pogg. Ann. **113**, 337. Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] **6**, 1868. Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Bunsen, Pogg. Ann. **155**, 230, 366. Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. **28**, 367, 471.

Ruthenium.

Vom Spectrum des Rutheniums sind Messungen nicht gemacht worden.

Samarium.

Dieses Element wurde von seinem Entdecker Marignac mit $Y\beta$ bezeichnet, später von Lecoq de Boisbaudran Samarium genannt. Neuerdings wird von Letzterem und von Krüss und Nilson angenommen, dass es complexer Natur sei, worüber Näheres bereits beim Didym ausgeführt ist.

Funkenspectrum:

5552,1	5516,0	5494,5	5466,5	5452,9	5368,5	5341,4	5320,9	5283,0
5272,0	5252,0	5201,0	5175,4	5173,4	5117,8	5053,3	5044,8	4911,4
4884,4	4848,0	4842,0	4816,0	4786,0	4783,5	4760,5	4746,0	4728,9
4704,4	4674,4	4669,4	4649,3	4593,8	4581,8	4567,8	4544,8	4538,3
4524,8	4523,3	4520,3	4511,9	4498,8	4478,3	4467,2	4458,2	4454,7
4453,2	4434,2	4425,2	4421,2	4390,7	4347,6	4319,1	4297,1	4280,6
4257,1.								

Thalén, Öfversigt K. Vetensk. Akad. Förhandl. **40**, Nr. 7 (1881). Cleve, Ebend. Lecoq de Boisbaudran, Compt. rend. **89**, 212, 516; **114**, 578; **116**, 611, 674. Soret, Ebend. **91**, 378.

Samariumnitrat.

Absorptionsspectrum. Lage der Dunkelheitsmaxima:

5797 5759 5588 5282 5211 5005 4892 (4838 4750) 4634 4530 4436 4175 4090.

Krüss u. Nilson, Ber. **20**, 2144.

Sauerstoff.

Das Funkenspectrum der Luft (siehe Stickstoff) ist zuerst von Angström gemessen, der aber die Sauerstofflinien nicht von denen des Stickstoffs trennte. Dies geschah zuerst durch Huggins. Plücker und Hittorf haben das Spectrum des in eine Geissler'sche Röhre eingeschlossenen Sauerstoffs untersucht, aber durch die leicht auftretenden Kohlenoxydlinien keine übereinstimmenden Resultate erhalten. Schuster fand im Anodenlichte ein zusammengesetztes Linienspectrum, im Kathodenlichte ein Bandenspectrum. Das elementare Linienspectrum tritt auf, wenn man den Funken der Leydener Flasche in einer Sauerstoffatmosphäre von normalem Drucke zur Entladung bringt.

Das nur in dicken Schichten wahrnehmbare Absorptionsspectrum des Sauerstoffs macht einen Theil der tellurischen Linien des Sonnenspectrums aus.

Das Spectrum der elektrischen Entladung in flüssigem Sauerstoff zeigt nach Liveing und Dewar nur wenig deutliche Absorptionsstreifen. Daneben waren einige helle von den Elektroden herrührende Linien, sowie ein continuirliches Spectrum sichtbar, das den von den Elektroden abspringenden festen Theilchen zuzuschreiben ist.

I. Elementares Linienspectrum:

6171,7 (A. u. Th.)	5206,4	4816,6	4802,4	4782,6	4710,2	4705,4	4694,1
4651,0	4649,2	4643,4	4641,9	4638,9	4630,7	4621,4	4614,0
4607,2	4601,4	4596,2	4592,9	4592,0	4590,9	4583,1	4544,5
4520,5	4507,7	4503,0	4447,1	4417,2	4415,0	4366,9	4353,7
4351,4	4349,3	4347,9	4345,5	4319,5	4317,2	4279,9	4190,0
4185,3	4119,4	4109,8	4105,2	4105,0	4076,2	4072,3	4070,2
3995,1	3981,4	3973,6	3956,2	3954,8	3919,3	3882,4	3755,3
3749,8 (Tr. u. H.)	3139,4	3135,3 (Desl.)					

II. Zusammengesetztes Linienspectrum (+ Pol):

6157,9 5436,5 5330,4 4368,2 (Sch.) 3956,0 3948,9 3824,4 3692,4 2883,5 (Desl.).

III. Bandenspectrum (— Pol):

b (6010 5960) b (5900 5840) b (5630 5553) b (5292 5205) (Sch.)

Trowbridge u. Hutchins, Phil. Mag. [5] 24, 302 (1887). Schuster, Phil. Trans. 170, 37 (1879). Wiedem. Ann. 7, 670. Deslandres, Ann. ch. phys. [6] 14, 257 (1888). Andere Beobachter: Angström, Pogg. Ann. 94, 141 (1855). Plücker, Ebend. 107, 518 (1859). Huggins, Phil. Trans. 154, 146. Plücker u. Hittorf, Ebend. 155, 23. Wüllner, Pogg. Ann. 130, 515; 137, 350; 144, 481; 147, 329. Wied. Ann. 8, 253. Salet, Ann. ch. phys. [4] 28, 52. Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Angström u. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 9 (1875). Paalzow u. Vogel, Wied. Ann. 13, 336. Piazzi-Smyth, Phil. Trans. Edinb. 30, 419 (1882). Phil. Mag. [5] 13, 130. Hartley u. Adeney, Phil. Trans. 175, 91 (1884). Janssen, Compt. rend. 118, 1007. Neovius, Bihang til Svenska Vet. Akad. Handl. 17, Afd. 1, Nr. 8; Beibl. Wied. Ann. 17, 563 (1893). Eisig, Wied. Ann. 51, 747 (1894). Hasselberg, Ebend. 52, 758 (1894).

Spectrum des flüsssigen Sauerstoffes: Liveing u. Dewar, Phil. Mag. 38, 235. Ber. 28, 4 (1895).

Scandium.

Das Funkenspectrum des von Nilson entdeckten Scandiums besteht aus zahlreichen Linien, die von Thalén gemessen sind. Von den Lösungen der Scandiumsalze wird ein Absorptionsspectrum nicht hervorgebracht.

Funkenspectrum:

6305,0	6247,0	6239,0	6210,9	6154,1†	6115,9†	6101,5†	6080,1†	6072,6†
6065,1†	6038,0†	5700,5	5687,0	5672,0	5657,5	5641,0	5527,0	5520,5
5514,5	5484,9	5481,9	5392,3	5356,0	5349,4	5240,0	5081,8	5031,3
4744,0	4740,4	4670,4	4415,7	4400,7	4374,6	4325,1	4320,6	4314,6
4249,1.								

† Banden nach Roth abschattirt.

Thalén, Öfersigt K. Vetensk. Akad. Förhandl. 38, Nr. 6, p. 13 (1881). Journ. de Phys. [2] 35, 446.

Schwefel.

Vom Schwefel sind ein Linien- und ein Bandenspectrum bekannt. Ersteres ist zuerst von Seguin beobachtet, der den Funken durch Wasserstoff, dem Schwefeldämpfe beigemischt waren, hindurchgehen liess. Plücker und Hittorf brachten Schwefel in einer evacuirten Geissler'schen Röhre zum Verdampfen und liessen Flaschenfunken hindurchgehen. Bei diesem noch heute gebräuchlichen Verfahren ist darauf zu achten, dass nicht bei zu grosser Luftverdünnung und zu starken Funken durch Schwefel, der etwa im Glase enthalten ist, das Spectrum hervorgerufen wird.

Das Bandenspectrum wird erzeugt, wenn schwache Funken eine Geissler'sche Röhre mit Schwefeldämpfen passiren. Nach Salet entsteht es auch, wenn man Spuren von Schwefel oder einer Schwefelverbindung der Wasserstoffflamme beimischt und letztere dadurch abkühlt, dass man sie gegen eine mit Wasser berieselte Marmor- oder Metallplatte brennen lässt. Dieses Spectrum ist von Plücker und Hittorf und von Salet gezeichnet, doch sind diese, überdies nur auf den sichtbaren Theil beschränkten Beobachtungen zu ungenau, um aus ihnen mehr als das Vorhandensein des Bandenspectrums zu entnehmen.

Die Flamme von brennendem Schwefel liefert ein continuirliches Spectrum, das sich weit in das Violett erstreckt.

Linienspectrum:

5660,7	5640,3	5604,9	5562,4	5508,3	5471,4	5451,9	5439,0	5430,7
5342,6	5320,1	5215,4	5201,1	5143,3	5103,7	5033,3	5013,5	4994,7
4926,0	4919,4	4902,8	4885,4	4816,6	4715,8	4552,3	4525,5	4485,9
4464,7.								

Bandenspectrum. Banden nach Violett scharf begrenzt, nach Roth abschattirt (Salet).

5366	5221	5191	5089	5041	4991	4946	4841	4796	4656	4616	4471.

Linienspectrum: Hasselberg, Bull. Acad. imp. St. Pétersb. 11, 307 (1880). Astronomy and Astrophysics 12, 347 (1893). Andere Beobachter: Seguin, Compt. rend. 53, 127 (1861). Mulder, J. pr. Chem. 91, 112 (1864). Ditte, Compt. rend. 73, 559. Plücker u. Hittorf, Phil. Trans. 155, 13. Salet, Ann. ch. phys. [4] 28, 37. Compt. rend. 68, 404 (1869). Lockyer, Proc. Roy. Soc. 22, 374. Gernez, Compt. rend. 74, 803 (1872). Angström, Pogg. Ann. 137, 300. Compt. rend. 73, 368. Ciamician, Wien. Ber. 77, 839; 82, 425. Schuster, Rep. Brit. Assoc. 1880, p. 272. Ames, Astronomy and Astrophysics 12 (1893).

Bandenspectrum: Salet, Ann. ch. phys. [4] 28, 37. Compt. rend. 79, 1231 (1874).

Selen.

Lässt man Flaschenfunken durch eine Geissler'sche Röhre, in der Selen verdampft wird, schlagen, so erhält man ein Linienspectrum; wendet man schwache Entladungen an, so entsteht ein Bandenspectrum. Ersteres bekommt man nach Salet auch, wenn man Funken zwischen Platinelektroden überspringen lässt, die mit geschmolzenem Selen überzogen worden sind; letzteres, wenn man Selen in der Gas- oder Wasserstoffflamme verbrennt.

Gernez hat die Absorptionsspectren des Selen-, Selensäure-, Selenchlorür- und Selenbromürdampfes beobachtet.

Funkenspectrum des Dampfes:

6055 5306 5272 5254 5226 5174 5142 5097 5093 4996 4979 (4845 4841) 4764 4648 4604.

Bandenspectrum:

5871 5751 5621 5491 5371 5271 5166 5031 4951 4851.

Salet, Spectroscopie, Paris 1888. Ann. ch. phys. [4] 28, 47 (1873). Andere Beobachter: Mulder, J. pr. Chem. 91, 113 (1864). Plücker u. Hittorf, Phil. Trans. 155, 5 (1865). Compt. rend. 73, 622. Gernez, Ebend. 74, 803, 1190 (1872). A. de Grammont, Compt. rend. 120, 778 (1895).

Silber.

Das Funkenspectrum des Silbers ist im sichtbaren Theile von Kirchhoff, Thalén, Huggins und Lecoq de Boisbaudran gemessen, im ultravioletten zum Theil von Hartley und Adeney.

Vom Bogenspectrum waren nur wenige Linien von Lockyer und von Liveing und Dewar angegeben, als Kayser und Runge es einer genauen Messung unterzogen. Sie erzeugten das Spectrum, indem sie Feinsilber oder auch Höllensteinkrystalle in den Kohlebogen brachten. Der Ersatz der Kohle durch Silberstäbe erwies sich als unthunlich, weil diese wohl wegen des hohen Wärmeleitungsvermögens sofort schmelzen und abtropfen.

Das Spectrum des Bogens scheint von dem des Funkens wesentlich verschieden zu sein; ausser der in der folgenden Liste erwähnten hellen Linie, welche nur mit Hülfe des Funkens zu erhalten ist, haben Thalén, Huggins, sowie Hartley und Adeney noch eine Anzahl minder heller Linien beobachtet, welche im Bogenspectrum fehlen.

Funken- und Bogenspectrum:

5623,5*	5471,72	5465,66	5209,25	4668,70	4476,29	4212,1	4055,44
3981,87	3383,00	3280,80	3130,09	2938,42	2824,50	2575,70	2375,1
2312,5	2309,74.						

* nur im Funken (Thalén).

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1892. Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Huggins, Phil. Trans. 1864, p. 139. Mascart, Ann. de l'École Normale 4 (1866). Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Lockyer, Phil. Trans. 164, 805 (1874). Liveing u. Dewar, Ebend. 175, 109 (1884).

Silicium.

Das Funkenspectrum des Siliciums ist im sichtbaren Theile in älterer Zeit von Plücker, Kirchhoff und Salet untersucht. Rowland führt indessen in seiner Wellenlängentafel einige mit dem Bogenlicht erhaltene Linien, die jene Beobachter nicht angegeben haben.

Im Ultraviolett haben Hartley und Adeney, sowie Eder und Valenta das Funkenspectrum, Liveing und Dewar, sowie Rowland das Bogenspectrum mit guter Uebereinstimmung gemessen.

Funkenspectrum:	6366	6341	5981	5960	5948,76
	5772,36	5708,62	5645,84	5057	5041
	(4131,5	4126,5)	4103,10	3905,67	2987,77
	2881,70	2631,39	2528,60	2524,21	2519,30
	2516,21	2514,42	2506,99	2435,25	2216,76.

Salet, Spectroscopie, Paris 1888. Ann. ch. phys. [4] 28, 65 (1873). Hartley u. Adeney, Proc. Roy. Soc. 35, 301. Eder u. Valenta, Denkschr. d. Wien. Akad. 60, 257 (1893). Liveing u. Dewar, Phil. Trans. 174, 222. Rowland, Astronomy and Astrophysics 12, 321 (1893). Andere Beobachter: Troost u. Hautefeuille, Compt. rend. 73, 920 (1871). Plücker, Pogg. Ann. 107, 531 (1859). Mitscherlich, Pogg. Ann. 121, 459 (1863). Ciamician, Wien. Ber. 82, 435 (1880).

Stickstoff.

Man kennt vom Stickstoff das gewöhnliche Funken- oder elementare Linienspectrum und zwei Bandenspectra, von denen das eine am positiven Pole, das andere am negativen Pole auftritt, wenn man schwache Entladungen durch mit Stickstoff gefüllte Geissler'sche Röhren leitet.

Das durch starke Funken hervorgerufene Linienspectrum besteht aus zahlreichen hellen, wenn auch nicht ganz scharfen Linien; sie sind von Huggins und von Thalén gemessen, die blauen und violetten später auch von Hartley und Adeney.

Das Bandenspectrum des positiven Poles ist zuerst von Plücker 1858 beobachtet, etwas später von van der Willigen. Plücker und Hittorf, sowie Lecoq de Boisbaudran haben Zeichnungen davon geliefert, Angström und Thalén, sowie in neuer Zeit Hasselberg es genau gemessen.

Angström und Thalén waren der Ansicht, dass das Spectrum nicht dem Stickstoff, sondern einer Sauerstoffverbindung desselben zukommt, was Schuster durch die Beobachtung wahrscheinlich machte, dass das Spectrum verschwindet, wenn man das Gas mit erhitztem Natrium behandelt. Er schloss daraus, dass das Natrium die Verbindung zersetzt, indem es den Sauerstoff absorbirt. Salet bewies indessen, dass auch bei Gegenwart von Natrium, sofern man dieses nur zuvor mit Stickstoff sättigt, das Bandenspectrum auftritt. Seitdem wird dieses Spectrum dem Stickstoff allgemein zugeschrieben. Es besteht aus Cannelirungen, die nach Roth scharf begrenzt und nach Violett abschattirt sind. Hasselberg, sowie auch Piazzi-Smyth haben mit Hülfe stark dispergirender Apparate die Banden in Gruppen von einzelnen Linien aufzulösen vermocht.

Das Bandenspectrum des negativen Poles war schon 1858 von Dove und von van der Willigen als verschieden von dem des positiven Poles erkannt worden. Dennoch glaubten Plücker und Hittorf 1864 es wieder damit identificiren zu müssen. Zehn Jahre später haben Angström und Thalén die Hauptstreifen dieses Spectrums gemessen, aber es blieb Hasselberg vorbehalten, die Banden in Systeme von weit getrennten glänzenden, scharfen Linien aufzulösen, die bei unter sich ähnlichem Aussehen doch von denjenigen im Spectrum des positiven Poles total verschieden sind.

Neben dem Verhalten des Stickstoffes ist dasjenige der Luft und einiger Verbindungen von Interesse.

Das Linienspectrum der Luft setzt sich aus dem des Stickstoffes und Sauerstoffes zusammen. Es macht sich stets bemerkbar, wenn der elektrische Funken von Metallelektroden in Luft überspringt und erheischt daher besondere Beachtung, um Irrthümer bei der Untersuchung von Funkenspectren zu vermeiden. Es ist in der Regel als Luftspectrum daran leicht kenntlich, dass sich die Linien in gleicher Schärfe über die volle Breite des Spectrums erstrecken, während die Metalllinien oft nur von den Polen ausgehende Ansätze zu Linien bilden.

Die Luft mit Einschluss des Wasserdampfes bildet in dicken Schichten ein Absorptionsspectrum, welches bei der spectroskopischen Beobachtung der Sonne Theile der Fraunhofer'schen Linien ausmacht. Die Intensität der Linien ist verschieden, je nachdem die Sonne tief oder hoch steht und ihre Strahlen mehr oder minder weite Schichten der Erdatmosphäre passiren.

Das Ammoniak erzeugt ein Linienspectrum, wenn man es in der Wasserstoffflamme an der Luft oder im Knallgasgebläse mit Sauerstoff verbrennt. Das Spectrum ist von Dibbits, Hofmann, Lecoq de Boisbaudran, Magnanini und von Eder gemessen worden; es umfasst eine Hauptbande, welche sich von Roth bis in den Beginn des Ultravioletts erstreckt und aus vielen, theils schärferen, theils verwaschenen Linien oder Banden besteht, die keine auffallende Regel-

mässigkeit zeigen, eine zweite regelmässig angeordnete und aus scharfen Linien zusammengesetzte Bande und fünf analog gebaute, einander sehr ähnliche Banden, welche ihre scharfe Kante nach Roth richten und sich in der anderen Richtung in sehr viele feine, ziemlich regelmässig gruppirte Linien auflösen lassen.

Amine haben beim Verbrennen in Sauerstoff kein Verbindungsspectrum erkennen lassen.

Die Untersalpetersäure liefert ein Absorptionsspectrum, welches schon 1832 von Brewster beobachtet, aber erst 1860 von ihm beschrieben wurde. Aus der beigegebenen Zeichnung lassen sich Mangels einer Scala Messungen nicht ableiten. Eine genaue Untersuchung des Spectrums zwischen B und λ 4600 geschah dann 1878 durch Hasselberg. Das Spectrum ist ein sehr verwickeltes, sowohl wegen der grossen Zahl der darin ohne irgend welche gesetzmässige Anordnung vorkommenden Linien und Absorptionsbanden, als wegen seines mit der Menge des Gases veränderlichen Aussehens.

Das Spectrum der elektrischen Entladung in flüssigem Stickstoff, flüssiger Luft und in flüssigem Sauerstoff ist von Liveing und Dewar beobachtet. In allen Fällen zeigte sich ein continuirliches Spectrum und einige helle, von den Elektroden herrührende Linien, während die Streifen, die von den Flüssigkeitsmolekeln ausgesandt zu sein scheinen, weniger deutlich waren. Auch das continuirliche Spectrum wird den von den Elektroden abspringenden Theilchen zugeschrieben.

Linienspectrum des Stickstoffes:

5942,7	5933,1	5679,1	5675,6	5667,1	5542,2	5535,1	5531,1	5496,1
5480,0	5045,9	5025,9	5016,9	5010,9	5005,9	5002,9	4994,4	4988,0
4804,1	4789,1	4780,1	4641,0	4629,7	4606,4	4600,9	4446,8	4348,8
(4237,0	4229,5)	3995,2.						

Thalén (5942,7—4641,0), Nova Acta Soc. Upsal. [3] 9 (1875). Hartley und Adeney (4629,7 — 3995,2), Phil. Trans. 175, 91 (1884).

Bandenspectrum des positiven Poles. Linien, mit welchen die Banden beginnen:

6623,4	6544,4	6468,3	6394,2	6322,4	6252,6	6185,5	6126,9	6069,4
6013,4	5958,9	5905,6	5854,1	5803,9	5754,8	5707,3	5660,2	5614,9
5570,1	5515,4	5478,4	5442,1	5407,2	5372,6	5339,5	5306,7	5275,0
5244,1	5213,7	5184,5	5155,4	5126,9	5099,5	5069,1†	4976,6	4918,6†
4723,6†	4649,4†	4574,3†	4490,2†	4416,6†	4357,5	4270,0†	4201,6†	4141,7†
4094,9	4059,3†	3998,5†.						

† Triplets.

Hasselberg, Mém. de l'Acad. St. Pétersb. [7] 32, Nr. 15 (1885). Andere Beobachter: Angström, Pogg. Ann. 94, 141. v. d. Willigen, Ebend. 106, 610. Plücker u. Hittorf, Phil. Trans. 155, 1. Wüllner, Pogg. Ann. 135, 524; 137, 356; 147, 325; 149, 103. H. C. Vogel, Ebend. 146, 569. Schuster, Proc. Roy. Soc. 20, 482. Salet, Ann. ch. phys. [4] 28, 52. Compt. rend. 82, 223, 274. Angström u. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 9 (1875). Deslandres, Compt. rend. 103, 375. Ann. ch. phys. [6] 14, 257. Piazzi-Smyth, Phil. Trans. Edinb. 32, 416.

Bandenspectrum des negativen Poles. Anfangslinien der Banden:

5228,5	4709,5	4652,1	4600,2	4554,6	4516,1	4485,7	4278,6	4236,9
4199,3	4167,0.							

Hasselberg, Mém. de l'Acad. de St. Pétersb. [7] 32, Nr. 15 (1885). Andere Beobachter: Dove, Pogg. Ann. 104, 184. v. d. Willigen, Ebend. 106, 626. Angström u. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 9 (1875). H. C. Vogel, Pogg. Ann. 146, 569 (1872). Deslandres, Compt. rend. 103, 375. Ann. ch. phys. [6] 14, 257 (1888).

Emissionsspectrum des flüssigen Stickstoffes und der flüssigen Luft:

Liveing u. Dewar, Phil. Mag. [5] 38, 235. Ber. 28, 4 (1895).

Luft.

Funkenspectrum:

6563,1	5942,6	5933,1	5679,1	5775,6	5667,1	5542,2	5535,1	5531,1
5496,1	5480,0	5045,9	5025,9	5016,9	5011,0	5006,0	5003,0	4994,5
4988,0	4804,1	4789,1	4780,1	4707,6	4699,1	4648,0	4642,0	4629,7
4606,4	4600,9	4446,7	4416,2	4414,3	4348,8	4319,3	4241,2	4237,0
4229,5	4075,8	4072,1	4069,9	3995,2	3973,2	3955,5	3919,2	3749,6
3727,1	3438,1	3333,7	3331,5	3309,2.				

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868) (W. L. 6563,1 — 4699,1). Hartley u. Adeney, Phil. Trans. 175, 91 (1884) (W. L. 4648,0 — 3309,2). Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Huggins, Phil. Trans. 154, 139 (1864). Plücker u. Hittorf, Ebend. 155, 1 (1865). Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Goldstein, Wied. Ann. 15, 280 (1882).

Absorptionsspectrum. Tellurische Fraunhofer'sche Linien:

6020,33	5999,83	5997,43	5994,74	(5992,17	5992,01)	5991,03	5990,74
5989,44	(5988,75	5988,67)	5987,20	5985,37	5977,94	5977,14	5976,94
5975,27	5971,53	5970,24	5969,24	5968,49	5967,87	5967,66	5966,81
(5966,42	5966,33)	5962,65	5958,85	(5958,48	5958,42)	5958,02	5955,10
5951,68	5950,49	5949,92	5949,42	5949,25	5948,35	5947,24	5947,02
5946,14	5945,81	5945,39	5944,84	5944,42	5942,73	5942,57	5941,73
5941,19	5935,96	5932,96	5932,28	(5928,53	5928,43)	5925,19	5924,49
5923,98	5923,82	5922,66	5920,73	5919,85	5919,22	5918,62	5913,15
(5910,95	5910,87)	5910,25	5909,14	5902,25	5901,68	5900,22	5900,06
5899,17	5898,39	5896,97	5895,26	5895,11	5893,72	5892,59	5891,87
5891,73	5890,34	5889,78	5887,36	5886,12	5884,04	5859,73	5745,92
5742,30	5737,82	5727,18	5722,07	5719,75	5699,52	5698,31	5692,57
5690,62	5687,66	5125,20	5068,88	5067,29	5060,19	5056,58	5018,55

Siehe auch Rowland's Wellenlängentafel S. 140.

Becker, Trans. Roy. Soc. Edinb. 36 1, (1890). Andere Beobachter: Brewster, Phil. Trans. Edinb. 1833. Brewster u. Gladstone, Phil. Trans. 150 (1860). Angström, Recherches sur le spectre solaire, Upsala 1868. Piazzi-Smyth, Madeira spectroscopic, Edinb. 1882. Fiévez, spectre solaire, Bruxelles 1883. Egoroff, Compt. rend. 97, 555; 101, 1143. Hautefeuille u. Chappuis, Ebend. 93, 80. Langley, Ebend. 97, 555. Cornu, Ann. ch. phys. [6] 7, 1. Compt. rend. 95, 801. Abney, Proc. Roy. Soc. Nr. 348 (1885). Compt. rend. 97, 1206. Hennesay, Proc. Roy, Soc. 19 (1870). Phil. Trans. 165 (1875). Secchi, Compt. rend. 60, 379 (1865). Janssen, Ann. ch. phys.

[4] 23 (1871). Ders., Compt. rend. 56, 538 (1863); 60, 213 (1865); 63, 289 (1866); 78, 995 (1874); 101, 111, 149 (1885); 102 (1886); 106 (1888); 107 (1888); 108 (1889). Thollon, Ann. de l'Obs. de Nice 3 (1890).

Ammoniak.

Flammenspectrum:

Bande α 6667—3572:	6330	6293	6189	6051	6006	5973	5959
	5703	5694	(5271	5263).			
Bande β 3433—3396:	3370,8	3360,3.					
Bande γ 2719— ? :	2719,2	2718,1	2710,9	2709,1.			
Bande δ 2595—2500:	2595,6	2594,3	2587,7	2586,2.			
Bande ε 2479—2406:	2478,8	2477,4	2471,5	2470,3.			
Bande ζ 2371—2308:	2370,8	2370	2364,5	2363,4.			
Bande η 2272—2210:	2272	2271	2265	2263.			

Magnanini, Atti della R. Accad. dei lincei [4] 5, 900: W. L. 6667 —4493. Eder, Denkschr. Wiener Akad. 60 (1893): W. L. 5080 — 2210. Andere Beobachter: Dibbits, De Spectraal Analyse 1863. Pogg. Ann. 122, 497 (1864). Mitscherlich, Pogg. Ann. 121, 459 (1863). Hofmann, Ebend. 147, 92 (1872). Schuster, Rep. Brit. Ass. 1872. Lecoq de Boisbaudran, Compt. rend. 101, 43.

Untersalpetersäure.

Absorptionsspectrum:

6165,7	6127,3	6122,1	5929,1	5921,4	5790,7	5753,5	5730,4	5654,0
5645,6	5643,1	5636,7	5634,0	5531,5	5529,2	5490,7	5463,3	5452,1
5431,3	5393,5	5390,4	5385,3	5380,2	5340,2	5264,6	5260,2	5252,3
5243,8	5241,2	5230,6	5225,1	5220,0	5215,8	5208,0	5200,7	5196,0
5191,8	5124,8	5096,0	5046,5	5032,8	5028,0	4966,6	4964,8	4947,2
4942,7	4903,9	4886,4	4883,2	4813,0	4798,2	4793,8	4747,6	4680,6
4644,6.								

Hasselberg, Mém. de l'Acad. St. Pétersb. [7] 26, Nr. 4 (1878). Andere Beobachter: Brewster, Phil. Trans. Edinb. 12, 519. Pogg. Ann. 28, 385; 37, 50. Phil. Trans. Lond. 150, 157 (1860). Morren, Pogg. Ann. 141, 157. Moser, Ebend. 160, 177. Gernez, Compt. rend. 101, 43. Bell, Am. J. 7, 32 (1885).

Strontium.

Das Linienspectrum entsteht nach Mitscherlich im Knallgasgebläse, ferner durch Ueberspringen von Funken in eine Lösung von Chlorstrontium und am schönsten durch Benutzung des Flammenbogens. Auf die letzte Weise haben es Kayser und Runge aus dem Chlorid zu ihren Messungen hergestellt.

In der Bunsenflamme zeigen die Haloidverbindungen vorübergehend ihr Verbindungsspectrum, dann das auf der Spectraltafel abgebildete Bandenspectrum des Oxyds; daneben erscheint stets die blaue Metalllinie 4607,5.

Bogen- und Funkenspectrum:

6550,53	6408,65	6386,74	5543,49	5540,28	5535,01	5522,02	5504,48
5486,37	5481,15	5451,08	5257,12	5238,76	5229,52	5225,35	5222,43
5156,37	4968,11	4962,45	4892,20	4876,35	4872,66	4868,92	4855,27

4832,23	4812,01	4784,43	4742,07	4722,42	4678,39	4607,52*	4531,54
4438,22	4361,87	4338,00	4305,60	4215,66	4161,95	4077,88	4030,45
3705,88	3547,92	4399,40	3475,01	3464,58	3380,89	3366,43	3351,35
3330,15	3322,32	3307,64	3301,81	2931,98.			

* blaue Linie, die auch im Flammenspectrum sichtbar ist.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1891. Andere Beobachter: Bunsen u. Kirchhoff, Pogg. Ann. **110**, 167. Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Müller, Pogg. Ann. **118**, 641. Huggins, Phil. Trans. 1864, 139. Mascart, Annales de l'École normale 4 (1866). Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6, 1868. Lockyer, Phil. Trans. **163**, 639; **164**, 311. Liveing u. Dewar, Ebend. **174**, 217. Becquerel, Compt. rend. **96**, 1218 **97**, 72 (1883). Rydberg, Wied. Ann. **52**, 119 (1894).

Strontiumchlorid.

Flammenspectrum: 6730 6599 6351.

Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Andere Beobachter: Mitscherlich, Pogg. Ann. **121**, 459. Bunsen, Ebend. **155**, 230 (1875).

Strontiumoxyd.

Flammenspectrum: 6863,5* 6747,2* 6628* 6499* 6465†
(6060 6032) 4607,5.

* Banden nach Roth scharf begrenzt, nach Violett abschattirt.
† Mitte einer Bande.

Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Eder u. Valenta, Denkschriften Wiener Akad. **60**, 473 (1893).

Tantal.

Thalén vermochte Linien wegen ihrer Lichtschwäche nicht zu messen. Lockyer hat 18 Linien des Bogenspectrums zwischen 4000 und 3900 angegeben.

Lockyer, Phil. Trans. **173**, 561.

Tellur.

Das Linienspectrum des Tellurs wird erhalten, wenn man den Funken zwischen Tellurelektroden überspringen lässt. Es wurde im sichtbaren Theile von Huggins und von Thalén, im ultravioletten von Hartley und Adeney gemessen.

Salet bekam ein Bandenspectrum, wenn er die Entladung durch mit Tellur beschickte schwer schmelzbare Geissler'sche Röhren gehen liess, die zur besseren Erwärmung mit Metall umkleidet waren. Es besteht aus Banden im Roth, die auch sichtbar werden, wenn man Tellur in der Wasserstoffflamme verbrennt, und aus Cannelirungen im Grün und Blau, die nach dem Violett scharf begrenzt und nach dem Roth abschattirt sind.

Die Absorptionsspectren von Tellurchlorid und -bromid sind von Gernez untersucht. Ersteres zeigt Cannelirungen im Grün und Orange, letzteres hauptsächlich im Roth und Gelb.

Funkenspectrum:

6438,2	6047,2	6013,7	5974,1	5936,2	5782,0	5756,1	5707,6	5648,1
5575,1	5489,1	5478,5	5448,5	5367,1	5311,0	5218,2	5153,1	5104,9
4302,1	4275,0	4260,4	4221,7	4062,0	4054,8	4006,7	3984,5	3969,3
3948,7	3841,9	3736,1	3726,7	(3650,0	3645,1)	3617,8	3552,4	3520,9
3496,9	3456,7	3441,9	3409,2	3384,1	3364,1	3354,6	3331,2	3309,3
(3282,0	3275,3)	3258,2	3248,7	3107,9	3073,1	3046,4	3017,0	2966,5
2941,2	(2894,7	2893,7)	(2868,1	2860,4	2857,4)	(2845,3	2840,4	2823,6)
2792,3	(2769,0	2766,9)	2710,6	(2697,0	2694,5)	2635,1	2544,1	2529,8
2505,6	2499,0	2473,6	(2448,2	2438,4)	(2413,7	2411,8)	(2404,1	2400,4)
(2386,7	2384,2)	2370,7	2359,0	(2332,4	2325,9)	2321,4	2318,2	2295,4
(2281,0	2277,6)	(2266,6	2261,0	2257,0)	2250,4	(2248,4	2247,7)	2243,7
2219,7	(2211,6	2209,9)	(2192,6	2190,1)	2179,6.			

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). (W. L. 6438,2—5104,9.) Hartley u. Adeney, Phil. Trans. 175, 63 (1883). (W. L. 4302,1—2179,6.) Andere Beobachter: Huggins, Ebend. 1864, 139. Ditte, Compt. rend. 73, 622 (1872). Salet, Ann. ch. phys. [4] 28, 49. Compt. rend. 73, 742. Spectroscopie, Paris 1888. Gernez, Compt rend. 74, 1190.

Thallium.

Beim Erhitzen eines Thalliumsalzes in der Bunsenflamme tritt die auf der Spectraltafel dargestellte charakteristische grüne Linie auf, welche die Wellenlänge 5350,65 hat.

Das Funkenspectrum ist im sichtbaren Theile von Huggins und von Thalén, im Ultraviolett von Hartley und Adeney, sowie von Cornu untersucht, das Bogenspectrum von Liveing und Dewar und neuerdings von Kayser und Runge, welche es meist aus dem Metall, seltener aus der Chlorverbindung erzeugten und es zwischen den Grenzen 630 $\mu\mu$ und 210 $\mu\mu$ photographirten. Die zahlreichen Linien, welche das Funkenspectrum zwischen 650 $\mu\mu$ und 300 $\mu\mu$ aufweist, fehlen im Bogenspectrum fast sämmtlich. Bis auf die grüne Linie bei 535 $\mu\mu$ und eine schwache Linie bei 553 $\mu\mu$ besteht die ganze, übrigens sehr starke Strahlung des Thalliums aus ultraviolettem Licht.

Funken- und Bogenspectrum:

5948,7*	5350,65†	5153,6*	5079,4*	5053,9*	4982,5*	4736,5*	4110,2*
3933,4*	3775,87	3529,58	3519,39	3229,88	2921,63	2918,43	2826,27
2767,97	2709,33	2665,67	2609,08	2580,23	2552,62	2379,66	2316,01
2237,91.							

* nur im Funkenspectrum (Thalén, Hartley und Adeney).
† auch im Flammenspectrum.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1892. Andere Beobachter: W. A. Miller, Phil. Trans. 152, 861 (1862). Crookes, Ebend. 153, 277. Phil. Mag. [4] 26, 55. Huggins, Phil. Trans. 154, 139 (1864). Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Bunsen, Pogg. Ann. 155, 230, 366 (1875). Lockyer u. Roberts, Proc. Roy. Soc. 23, 344. Ciamician, Wien. Ber. 76, 499. Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 27, 132. Phil. Trans. 174, 219 (1883). Hartley u. Adeney, Ebend. 175, 104 (1884). Cornu, Compt. rend. 100, 1181 (1885).

Thorium.

Das Funkenspectrum des Thoriums ist von Thalén gemessen worden. Rowland führt in seiner Wellenlängentafel einige andere helle Linien, welche er mit dem Voltabogen erhielt.

5538,0	5446,9	5375,5	5350,67*	4919,9	4864,5	4393,2	4382,2
4281,6	4278,1	4273,1	3575,87*	3529,55*	3519,34*.		

* im Bogenspectrum; Rowland.

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). Rowland, Astronomy and Astrophysics 12, 321 (1893).

Thulium.

Dieses von Cleve 1879 entdeckte Element giebt ein Funkenspectrum, das von Thalén gemessen ist. Das Oxyd erzeugt in der Flamme, ohne merklich zu verdampfen, ein aus den Banden 6840 und 4760 bestehendes discontinuirliches Spectrum. Die erste dieser Banden stimmt mit Absorptionsstreifen überein, welche Thuliumsalze bei durchfallendem Licht hervorbringen. Ausserdem beschreibt Thalén noch eine Absorptionsbande bei 4650.

Krüss und Nilson nehmen an, dass das Thulium gleich anderen Metallen der seltenen Erden zusammengesetzter Natur ist, worüber Näheres bei Didym (S. 85) mitgetheilt wurde.

Funkenspectrum:	5962,5	5897,0	5676,0	5306,6	5034,3	4733,9
	4615,8	4522,8	4481,8	4387,2	4360,1	4242,1
	4204,6	4188,4	4107,3	4093,7.		

Thalén, Öfversigt K. Vetensk. Förhandl. 40 (1881).

Titan.

Das sehr linienreiche Funken- und Bogenspectrum des Titans ist von Thalén, Angström, Cornu und von Liveing und Dewar im sichtbaren Theile gemessen worden.

Zwischen W. L. 4000 und 3900 hat Lockyer weitere 24 Linien, und zwischen W. L. 3510 und 3217 hat Cornu noch 25 Linien beobachtet. — Rowland hat zahlreiche Sonnenlinien mit Titanlinien, namentlich im Ultraviolett, identificirt, die im nachstehenden Verzeichnisse nicht enthalten sind und hinsichtlich deren auf Rowland's Normallinien (s. S. 140) verwiesen wird.

Funken- und Bogenspectrum:

6261,3	6258,6	6222,0*	6215,2*	6126,3*	6098,6*	6091,6*	6084,4*	6065,8*
5999,8*	5979,1*	5966,5*	5953,0*	5922,7	5920,0	5900,1*	5866,4*	5739,1
5689,6*	5680,1*	5675,6*	5662,6*	5644,1*	5565,8*	5514,4*	5512,9*	5503,9*
5490,0*	5487,9*	5481,2*	5477,5	5474,3*	5449,0*	5429,7*	5426,1*	5409,7*
5404,1*	5397,2*	5381,3*	5369,9	5351,6	5337,8*	5299,6	5297,8	5296,5
5283,9	5266,1	5247,5	5239,7	5227,2	5224,2	5210,5	5206,7	5201,7

5193,1	5189,5*	5186,3	5173,9	5154,4	5152,3	5148,0	5145,5	5129,5
5120,8*	5113,9	5087,4	5065,3	5062,2	5053,2*	5044,3	5040,1	5038,9
5036,5	5025,7*	5024,7*	5022,3	5020,2	5016,2	5014,2	5007,4	4999,7
4991,2	4982,0	4978,8	4938,3	4928,6	4921,9	4914,2	4912,3	4900,3
4885,5*	4869,4	4868,5	4856,1	4849,1	4841,1	4820,6	4805,4*	4792,7
4780,1	4759,6*	4758,1*	4742,9*	4723,8*	4710,0*	4699,0*	4691,6	4682,5
4667,5	4656,4	4639,7*	4629,9*	4623,9*	4617,6	4572,4*	4563,9*	4556,2*
4552,7*	4549,6*	4544,4*	4534,0	4532,5	4527,0*	4522,8*	4518,4*	4512,4*
4501,6*	4497,0*	4481,9*	4469,3*	4458,3*	4455,8*	4453,3*	4450,3*	4447,3*
4443,8*	4427,6*	4418,6*	4411,8*	4403,8*	4399,3*	4393,8*	4338,1*	4324,1*
4305,6	4300,1	4299,6	4298,6	4291,3	4263,6*	4237,1*	4185,6*	4171,6*
4163,7*.								

* nur im Funkenspectrum.

Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. **32**, 402 (1881). Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6, 1868. Cornu, Spectre normal, Paris 1881. Journ. de l'École polyt. **52** (1883). Lockyer, Phil. Trans. **173**, 561 (1881).

Uran.

Die Linien, welche starke Flaschenfunken im Chlorid hervorbringen, sind von Thalén gemessen; ausserdem hat Lockyer 56 Linien im Bogenspectrum zwischen den W. L. 4000 und 3900 beobachtet.

Die Uransalze rufen charakteristische Absorptionsspectra hervor, welche von H. W. Vogel, Morton und Bolton und von Zimmermann untersucht sind; einige derselben sind weiter unten S. 130 mit anderen Absorptionsspectren abgebildet. Oxyd- und Oxydulsalze sind verschieden; reducirt man die Lösung von ersteren durch Zink und Salzsäure, so tritt in kurzer Zeit an die Stelle des Spectrums der Oxydsalze dasjenige der Oxydulverbindungen, bestehend aus einem starken Doppelstreifen im Orange, einer etwas schwächeren Bande im Grün und einer breiteren im Blau. Eisen, Chrom, Kobalt, Nickel, Zink und Thonerde verhindern diese charakteristische Reaction nicht (Vogel).

Funkenspectrum:	5914,1	5620,1	5580,2	5563,7	5528,1	5510,1
	5494,6	5482,5	5480,5	5478,0	5475,5	5385,1
	5027,9	4732,0	4724,0	4543,9	4473,4	4394,3
	4374,7	4362,7	4341,2.			

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6, 1868. Andere Beobachter: Lockyer, Proc. Roy. Soc. **27**, 280. Phil. Trans. **173**, 561 (1881).

Absorptionsspectra: Oeffinger, Inaug.-Diss., Tübingen 1866. Stokes, Pogg. Ann. Suppl.-Bd. **4**, 273 (1854). Hagenbach, Pogg. Ann. **146**, 395 (1872). H. W. Vogel, Prakt. Spectralanalyse, Berlin 1889. Morton u. Bolton, Chem. News **28**, 47, 113, 164, 233, 244, 257, 268 (1873). Zimmermann, Zeitschr. anal. Chem. **23**, 221.

Vanadin.

Das Funkenspectrum ist von Thalén gemessen; ausserdem hat Lockyer etwa 50 Linien im Bogenspectrum zwischen den W. L. 4000 und 3900 aufgezeichnet.

Funkenspectrum:	6241,7	6120,1	6090,2	6040,2	5726,1	5703,6
	5698,6	5669,1	5627,1	5623,6	5415,4	5241,1
	5234,2	4881,9	4875,5	4844,1	4593,9	4459,8
	4407,9	4395,8	4389,8	4384,8	4379,6	4110,8.

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). Andere Beobachter: Lockyer, Proc. Roy. Soc. 27, 280; Phil. Trans. 173, 561 (1881).

Wasserstoff.

Der Wasserstoff bringt im Geissler'schen Rohre, je nachdem der Druck stärker oder schwächer und die Temperatur höher oder niedriger bemessen ist, zwei verschiedene Spectra hervor, welche wie beim Sauerstoff das elementare und das zusammengesetzte Linienspectrum genannt werden. Das erstere, welches die beim vorgeschritteneren Zerfall der Wasserstoffmolekeln auftretenden Linien aufweist, wurde von Angström, H. W. Vogel, Lockyer, Huggins, Cornu und Ames gemessen; das zweite wurde, nachdem Plücker und Hittorf es zuerst untersucht hatten, von Angström, Berthelot und Richard, sowie von Salet nicht dem Wasserstoff, sondern dem Acetylen zugeschrieben, doch haben die genauen Messungen Hasselberg's die Unrichtigkeit dieser Annahme dargethan.

Der Wasserdampf bildet bei niedriger Temperatur ein linienreiches Absorptionsspectrum, das sich vorwiegend auf das Roth erstreckt. Diese Linien machen einen grossen Theil der terrestrischen Fraunhofer'schen Linien aus und sind beim Stickstoff S. 115 bereits erwähnt; sie treten am stärksten hervor, wenn die Sonne tief am Horizont steht und ihre Strahlen eine weite Schicht der Atmosphäre passiren, sowie wenn diese mit Wasserdämpfen gesättigt ist. Ist das Letztere der Fall, so kann man mit einem schwach dispergirenden Spectroskop einen breiten, von den Wasserdampflinien herrührenden Streifen wahrnehmen, der zwischen dem rothen Ende des Spectrums und *D* liegt und als Regenband bezeichnet worden ist. Piazzi-Smyth, Capron, Grace u. A. haben das Auftreten des Regenbandes benutzt, um kommenden Regen vorher zu sagen.

Janssen hat Wasserdampf unter starkem Druck in Röhren von grosser Länge eingeschlossen und dann das Absorptionsspectrum desselben erhalten. Auch reines Wasser zeigt nach Schönn einen Absorptionsstreifen.

Verbrennt man Wasserstoff in der Luft oder leitet man einen Wasserstoffstrom durch die Bogenflamme, so erhält man ein Emissionsspectrum des Wassers, das aus sehr vielen ultravioletten Linien besteht und von Huggins, sowie von Liveing und Dewar gemessen ist. Letztere unterscheiden fünf Serien. Die erste umfasst die W. L. 3268,2 bis 3063,7 mit etwa 116 Linien, die zweite Serie die W. L. von 3057 bis 2812 mit 180 Linien, die dritte Serie die W. L. 2807 bis 2609 mit 141 Linien, die vierte Serie die W. L. 2606 bis 2450 mit 88 Linien die fünfte Serie die W. L. 2449 bis 2268 mit 79 Linien.

Elementares Linienspectrum des Wasserstoffs:

[C oder Hα] 6563,04	[F oder Hβ] 4861,49	[G oder Hγ] 4340,66	[h oder Hδ] 4101,85
[H] 3970,25	[α] 3889,15	[β] 3835,6	[γ] 3798,0
[δ] 3770,7	[ε] 3752,05	[ζ] 3734,15	[η] 3721,8
[ο] 3711,9 (Ames).			

Zusammengesetztes Linienspectrum des Wasserstoffs:

6135,5	6121,9	6081,0	6070,7	6032,1	6018,5	5975,8	5938,9	5931,8
5888,9	5884,5	5813,0	5084,9	5055,2	5013,15	4973,3	4934,5	4928,8
4861,49	4719,2	4683,95	4634,15	4461,1	4412,35	4340,66	4212,65	4205,2
4195,9	4177,25	4171,35	4101,85	4079,0	4069,75	4067,0	4062,6	3990,15
3970,25	3889,15	3871,8	3863,3	3835,6	3804,9	3796,8	3684,3	3674,5

(Hasselberg, Ames).

Ames, Phil. Mag. [5] 30, 33 (1890). Hasselberg, Bull. Acad. St. Pétersb. 11, 307 (1880). Mém. Acad. St. Pétersb. 30, Nr. 7 (1882); 31, Nr. 14 (1883). Wied. Ann. 15, 45. Bull. Acad. St. Pétersb. 12, 203 (1884). Andere Beobachter: Plücker, Pogg. Ann. 107, 497. Plücker u. Hittorf, Phil. Trans. 155, 21 (1865). Angström, Pogg. Ann. 91, 141; 123, 489 (1864); 144, 300 (1872). H. C. Vogel, Ebend. 146, 569 (1872). Wüllner, Ebend. 135, 497; 137, 337; 144, 481. Wied. Ann. 14, 355. Berthelot u. Richard, Compt. rend. 68, 810, 1035, 1107, 1546. Salet, Ann. ch. phys. [4] 28, 17. H. W. Vogel, Berl. Monatsber. 1879, S. 586; 1880, S. 190. Ber. 13, 274 (1880). Seabroke, Phil. Mag. [4] 43, 155. Huggins, Phil. Trans. 171, 669. Lockyer, Proc. Roy. Soc. 28, 157; 30, 31. Liveing u. Dewar, Ebend. 35, 74. Balmer, Wied. Ann. 25, 80 (1885).

Wasser: Huggins, Proc. Roy. Soc. 30, 576. Compt. rend. 74, 1050 (1872). Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 30, 580; 33, 274; Phil. Trans. 179, 2 (1888). Janssen, Compt. rend. 63, 289. Lecoq de Boisbaudran, Ebend. 74, 1050. Deslandres, Ebend. 100, 854. Ann. ch. phys. [6] 14, 257 (1888). Piazzi-Smyth, Nature 26, 551. Capron, The observatory 1882, p. 42, 71.

Absorptionsspectrum: Schönn, Pogg. Ann. Suppl.-Bd. 9, 670 (1878). Wied. Ann. 6, 267. Janssen, Compt. rend. 54, 1280; 56, 538; 60, 213. Russel u. Lapraik, Nature 22, 368 (1880). Soret u. Sarasin, Arch. Sc. phys. et nat. 11, 327 (1884). Compt. rend 98, 624. Ewan, Proc. Roy. Soc. 57, 126 (1895).

Wismuth.

Das Funkenspectrum wird erhalten, wenn man Wismuthelektroden anwendet; es ist von Huggins, Thalén und von Hartley und Adeney gemessen; das Bogenspectrum von Liveing und Dewar und neuerdings, mit 618 $\mu\mu$ beginnend, von Kayser und Runge. Das Funkenspectrum weist viele Linien auf, die im Bogenspectrum fehlen.

Wismuthsalze erzeugen, mit Salzsäure befeuchtet, in der Bunsenflamme ein schnell vorübergehendes Bandenspectrum des Oxyds. Die Verbindungsspectren erhält man, wenn man die Salze in der Wasserstoffflamme verflüchtigt. Mitscherlich hat Zeichnungen davon entworfen.

Bogen- und Funkenspectrum:

6493,8*	6130,2*	6057,7*	5862,6*	5817,1*	5717,6*	5552,44	5451,0*
5271,1*	5209,0*	5144,0*	5124,5*	4993,9*	4722,72	4560,9*	4302,6*

4260,1*	(4122,01	4121,69)	4079,7†	3864,4†	3793,3†	3757,6†	3695,7†
3654,7†	3614,6†	3596,26	3115,2†	3067,81	3024,75	2993,46	2989,15
2938,41	2898,08	2809,74	2784,4†	2780,57	2766,7†	2730,61	2696,84
2627,99	2524,58	2515,72	2489,5	2400,98	2276,64	2230,70	2228,31
2203,2	2189,70	2187,4†	2176,70	2157,03	2152,98	2134,38	2133,72
2110,35	2061,77.						

* nur im Funkenspectrum; Thalén.
† „ „ „ Hartley und Adeney.

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1893. Tkalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). Andere Beobachter: Angström, Pogg. Ann. 94, 141 (1855). Huggins, Phil. Trans. 1864, p. 139. Mascart, Ann. de l'École normale 4, 7 (1866). Liveing u. Dewar, Phil. Trans. 174, 222 (1883). Proc. Roy. Soc. 29, 398. Hartley u. Adeney, Phil. Trans. 175, 130 (1884). Becquerel, Compt. rend. 96, 1218; 97, 72. Mitscherlich, Pogg. Ann. 121, 459 (1863).

Wismuthoxyd.

Flammenspectrum (Banden nach Roth abnehmend):

6383 6195 6040 5874 5718 5583 5445 5329 5221.

Wolfram.

Das mit Hülfe des Flaschenfunkens erhaltene Spectrum des Wolframs ist von Thalén im sichtbaren Theile gemessen; ausserdem hat Lockyer im Bogenspectrum zwischen den W. L. 4000 und 3900 sieben Linien beobachtet.

Funkenspectrum: 5734,1 5514,1 5492,6 5224,2 5071,4 5068,9
5053,9 5014,9 5007,9 4888,5 4843,1 4302,6
4295,6 4269,6.

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). Lockyer, Phil. Trans. 173, 561 (1881).

Ytterbium.

Das Spectrum, welches Ytterbinerde im Funken giebt, ist von Thalén gemessen; ein Absorptionsspectrum der Salze ist nicht bekannt.

Funkenspectrum: 6221,9 6005,0 5984,4 5837,0 5819,0 5556,6
5476,9 5353,0 5347,4 5345,9 5335,0 4936,0
4786,5 4725,9.

Thalén, Öfvers. K. Vetensk. Akad. Förhandl. 1881.

Yttrium.

Das von Thalén gemessene Spectrum wurde mit Yttriumchlorid im starken Funken erhalten. Ausserdem hat Lockyer im Bogenspectrum zwischen den W. L. 4000 und 3900 26 Linien beobachtet. Rowland, welcher es nicht für ausgeschlossen hält, dass Yttrium aus zwei Bestandtheilen zusammengesetzt ist, führt in seiner Wellenlängen-

tafel folgende ultraviolette Linien, welche er mit dem Lichtbogen erhalten hat: 3950,50, 3774,48, 3710,44, 3633,28, 3611,20, 3602,06, 3600,88, 3584,66, 3549,15. Ein Phosphorescenzspectrum der Yttererde ist von Crookes beschrieben.

Funkenspectrum:

6614,0	6435,5	6191,4	6181,9	6164,5	6150,1	6131,9	6019,5	6009,5
6003,5	5987,4	5663,0	5605,6	5577,1	5545,6	5544,1	5527,5	5521,0
5510,0	5497,0	5480,4	5473,9	5466,9	5403,0	5206,0	5200,5	5123,3
5118,8	5088,3	4881,9	4855,0	4643,8	4527,3	4422,7	4374,6	4309,6
4177,1	4167,7.							

Thalén, Om Spectra Yttrium, Erbium, Didym och Lanthan, Stockholm 1874. Andere Beobachter: Bunsen, Pogg. Ann. 155, 366. Lockyer, Phil. Trans. 173, 561 (1881). Rowland, Astronomy and Astrophysics 12, 321 (1893). Johns Hopkins Univ. Circulars 13, 73 (1894).

Phosphorescenzspectrum der Yttererde.

Banden: 6676,7 6180,7 5737,9 5492,4 5400,5 4825,7 4323,6.

Crookes, Phil. Trans. 174, 891. Ann. ch. phys. [6] 3, 145. Proc. Roy. Soc. 35, 262; 38, 414.

Zink.

Das Spectrum des Zinks ist von Kirchhoff, Huggins, Thalén, Lecoq de Boisbaudran, Mascart, Cornu, Lockyer, Liveing und Dewar, Hartley und Adeney, Ames und von Kayser und Runge gemessen worden. Letztere haben zur Erzeugung des Spectrums den Kohlebogen theils mit Chlorzink, theils mit metallischem Zink beschickt.

Das Funkenspectrum ist wesentlich verschieden vom Bogenspectrum, wohl eine Folge der wesentlich höheren Temperatur des Funkens.

Funken- und Bogenspectrum:

6363,7*	6103,0*	4924,6*	4912,0*	4812,2	4810,71	4722,26	4680,38
4630,06	3345,62	3345,13	3303,03	3302,67	3282,42	3075,99	3072,19
3035,93	3018,50	2801,00	2771,05	2770,94	2756,53	2712,60	2684,29
2670,67	2608,65	2582,57	2570,00	2567,99	2558,03	2542,53	2516,00
2491,67	2246,90	2138,3**	2099,1†	2073,7†	2061,3†	2024,6†.	

* nur im Funkenspectrum (Thalén). ** nur im Funkenspectrum (Ames).
† nur im Funkenspectrum (Cornu).

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1891. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6, 1868. Ames, Phil. Mag. [5] 30, 33 (1890). Cornu, J. de phys. 10, 425 (1881). Compt. rend. 100, 1181 (1885). Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Huggins, Phil. Trans. 154, 139 (1866). Mascart, Ann. de l'École normale 4 (1866). Lockyer, Phil. Trans. 163, 253, 639 (1873). Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 29, 402. Phil. Trans. 174, 205 (1883). Hartley u. Adeney, Ebend. 175, 63.

Zinn.

Man erhält das Funkenspectrum, wenn man Zinnelektroden benutzt oder den Funken in eine concentrirte Salzlösung übergehen lässt.

Das Funkenspectrum haben Kirchhoff, Huggins, Thalén, sowie Hartley und Adeney gemessen, das Bogenspectrum Liveing und Dewar, sowie Kayser und Runge. Beide Spectren weichen erheblich von einander ab; so zeigt z. B. der sichtbare Theil nur zwei Bogenlinien, während durch die Funken vier weitere Linien hervorgerufen werden. Auch im Ultraviolett ist das Funkenspectrum linienreicher.

Ein Bandenspectrum des Zinnoxyds ist von Salet beobachtet; Letzterer fand auch, dass beim Einführen von Zinnchlorid in eine Wasserstoffflamme eine für Zinn charakteristische rothgelbe Bande bei 610 $\mu\mu$ entsteht. H. W. Vogel bestätigt diese Beobachtung.

Funken- und Bogenspectrum:

6453,3*	5799,0*	5631,91	5589,5*	5563,5*	4524,92	3801,16	3745,7†
3595,9†[1])	3352,3†	3330,71	3283,4†	3262,44	3175,12	3034,21	3009,24
2913,67	2863,41	2850,72	2840,06	2788,09	2779,92	2706,61	2661,35
2658,3†	2643,6†	2631,9†	2594,49	2571,67	2558,12	2546,63	2531,35
2495,80	2483,50	2429,58	2421,78	2408,27	2354,94	2334,89	2317,32
2286,79	2269,03	2267,30	2251,29	2246,15	2231,80	2209,78	2199,46
2194,63	2171,5	2151,2	2148,7	2141,1	2121,5	2113,9	2100,9
2096,4	2091,7	2080,2	2073,0	2068,7	2063,8	2058,3	2053,8.

* nur im Funkenspectrum; Thalén.
† „ „ „ Hartley und Adeney.

[1]) Bei Watts 3598,9 (corr.).

Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1893. Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). Hartley u. Adeney, Phil. Trans. **175**, 104 (1884). Andere Beobachter: Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. Huggins, Phil. Trans. **154**, 139 (1864). Mascart, Ann. de l'École normale **4** (1861). Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux, Paris 1874. Lockyer u. Roberts, Proc. Roy. Soc. **23**, 344 (1875). Liveing u. Dewar, Phil. Trans. **174**, 219 (1883). Salet, Ann. ch. phys. [4] **28**, 68 (1873). H. W. Vogel, Prakt. Spectralanalyse, Berlin 1889.

Zirkon.

Man erhält das Funkenspectrum, wenn man starke Funken zum Chlorid übergehen lässt.

Das Spectrum ist von Thalén im sichtbaren Theile gemessen; ausserdem hat Lockyer das Bogenspectrum zwischen der W. L. 4000 und 3900 untersucht und 23 Linien beobachtet.

Funkenspectrum: 6344,8 6311,3 6141,8 6133,7 6128,1 5350,5
5191,7 4816,1 4772,1 4739,5 4710,5 4687,5
4155,7 4149,7.

Thalén, Nova Acta Soc. Upsal. [3] 6 (1868). Andere Beobachter: Lockyer, Phil. Trans. **173**, 561 (1881). Troost u. Hautefeuille, Compt. rend. **73**, 620 (1871).

Absorptionspectra.

Wenn man die Absorptionsspectra mit gleicher Ausführlichkeit behandeln will, wie es oben in Bezug auf die Emissionsspectren versucht

worden ist, so begegnet man grossen Schwierigkeiten. Während die Mehrzahl der Emissionsspectren bis in die kleinsten Einzelheiten durchforscht und für alle Linien ein einheitliches System von Wellenlängen abgeleitet ist, hat sich die Beobachtung der Absorptionsspectra im Grossen und Ganzen auf den sichtbaren Theil beschränkt, obschon einzelne Untersuchungen des ultravioletten und des infrarothen Theiles vielversprechende Aussichten eröffneten. Zahlreiche Untersuchungen sind mit Apparaten ohne Messvorrichtung ausgeführt, viele haben eine willkürliche Scala zur Unterlage, und die meisten lassen Angaben über die Concentration der angewandten Lösungen und über die Dicke der beobachteten Schicht vermissen. Will man daher die durch Curven dargestellten Ergebnisse solcher Forschungen zum Vergleichen benutzen, so kommt man nur selten zum Ziele. Die Krüss'sche Methode der Bestimmung der Dunkelheitsmaxima, welche für diesen Zweck geeigneter ist, hat noch keine allgemeine Anwendung gefunden. Sollen daher die Absorptionsspectra den ihnen gebührenden Antheil an den weiteren der Spectroskopie aus ihrer neueren Entwickelung erwachsenen Problemen nehmen, so werden die Untersuchungen nach einem ganz anderen Plane auszuführen sein, als bisher zumeist geschehen, und die meisten bisher gewonnenen Ergebnisse umgearbeitet werden müssen[1]).

Aus diesen Bemerkungen darf nicht der Schluss gezogen werden, dass im Bereiche der Absorptionsspectroskopie Erhebliches überhaupt noch nicht geleistet sei. Schon das Sonnenspectrum, welches zu diesem Gebiete gehört und das wichtigste und beststudirte Spectrum ist, würde das Gegentheil beweisen. Aber auch ausserdem sind noch vorzügliche Untersuchungen ausgeführt, von denen einige auf anorganische Stoffe bezügliche, wegen des Zusammenhanges mit den Emissionsspectren, bereits bei diesen erörtert sind. Immerhin bilden jedoch solche Arbeiten die grosse Mehrzahl, welche, wenn sie auch als vorläufige Untersuchungen ihren Werth haben, doch den heutigen Anforderungen an Genauigkeit nicht entsprechen. Angesichts dieses ungleichen Werthes der vorliegenden Beobachtungsresultate erscheint es unthunlich, sie mit einiger Vollständigkeit in ein zum Nachschlagen bestimmtes Werk aufzunehmen, das überdies nicht der Ort ist, wo man Kritik zu üben hat. Zudem würde die Umzeichnung der nach lauter willkürlichen Scalen angefertigten Abbildungen eine neue Fehlerquelle mit sich bringen.

Wir beschränken uns daher im Folgenden auf die aus den Beobachtungen abgeleiteten Gesetzmässigkeiten und verweisen auf die in den Literaturangaben angezogenen Originalabhandlungen, sowie auf H. W. Vogel's Praktische Spectralanalyse, Berlin 1889, welches Werk zahlreiche Abbildungen von Absorptionsspectren enthält. Zur Kennzeichnung der Curvenmanier, welche zur Darstellung der letzteren viel-

---

[1]) Vergl. Hasselberg, K. Svenska Vetensk. Akad. Handl. **24**, Nr. 3 (1891).

fach benutzt wird, sind in Fig. 41 (a. f. S.) die Zeichnungen einiger bekannten Absorptionsspectra beigefügt. Die Tafel zeigt aus dem Gebiete der anorganischen Chemie die Spectra von Chrom-, Eisen-, Kobalt-, Kupfer-, Mangan-, Nickel- und Uranverbindungen, aus dem Bereiche der organischen Chemie die Spectra von Alizarin, Anilinblau, Chinolinroth, Chlorophyll, Eosin, Fluorescein, Fuchsin, Indigo, Malachitgrün, Methylviolett, Purpurin, Safranin, sowie diejenigen, welche Blut in wässeriger Lösung für sich oder nach Behandlung mit Reagentien hervorbringt, und welche für die richtige Erkennung von Blutflecken und die Nachweisung von Kohlenoxydgasvergiftungen von Bedeutung sind. Das Sonnenspectrum wird weiter unten gesondert abgehandelt werden.

Absorption durch Gase und Flüssigkeiten. Die Gesetzmässigkeiten bei der Absorption durch Gase sind bereits auf S. 58 erörtert worden. Bei den durch Flüssigkeiten hervorgebrachten Absorptionserscheinungen ist nach Ostwald[1]) zwischen salzartigen und anderen Lösungen zu unterscheiden. Die nicht salzartigen Farblösungen bringen, wie sich besonders deutlich bei organischen Farbstoffen zeigt, den constitutiven Charakter der Färbung zur Geltung[2]). Jede Veränderung in der Molekel ändert in bestimmtem Sinne die Absorptionsverhältnisse, gleichwie nach Stenger Aenderungen der Absorption mit Aenderungen in der Molekularbeschaffenheit Hand in Hand gehen. Bei verdünnten salzartigen Lösungen setzt sich die absorbirende Wirkung additiv aus der Farbe der Ionen zusammen.

Verschiedene Salze derselben färbenden Base oder Säure. Als Annäherungsregel hatte schon Gladstone[3]), dem die erste systematische Untersuchung der Absorptionsspectren verschiedener Salze derselben Säure zu danken ist, den Satz aufgestellt, dass eine Base oder Säure ihre Absorption in Verbindungen beibehält.

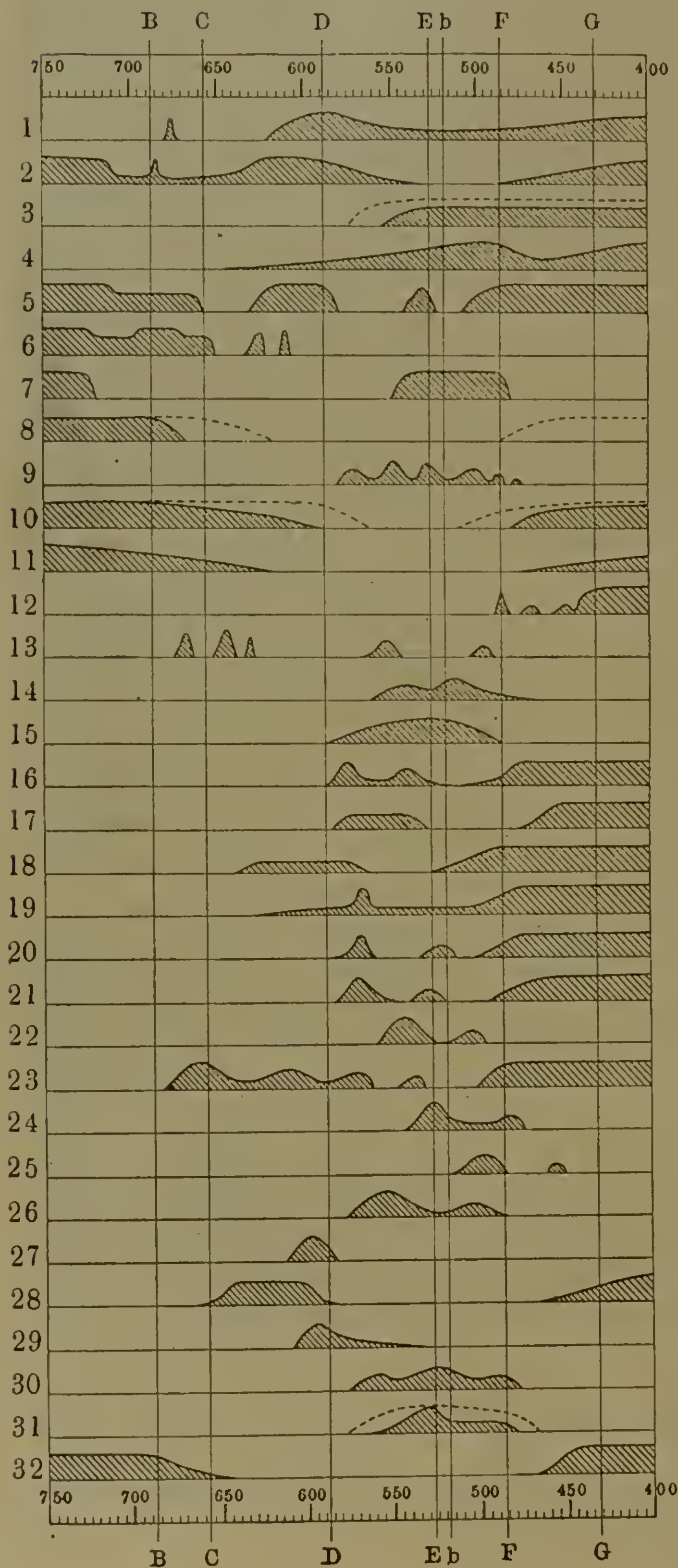
Ostwald hat das von Arrhenius aufgestellte Gesetz, dass alle Zustandseigenschaften der wässerigen Salzlösungen mit zunehmender Verdünnung und entsprechend zunehmender Dissociation einer Grenze zustreben, in welcher sie vollständig additiv in Bezug auf ihre Ionen werden, auch auf die Farbe der Salzlösungen angewandt. Das Absorptionsspectrum eines Salzes in einer Lösung von endlicher Concentration wird eine ziemlich verwickelte Erscheinung sein. Es sind in einer solchen Lösung mindestens drei Arten von Bestandtheilen vorhanden, nämlich die unzersetzten Molekeln und die beiden Ionen; das Absorptionsspectrum wird demnach die Summe von mindestens drei Absorptionsspectren sein, deren Intensität dem Gehalte an jedem der drei Be-

[1]) Ostwald, Ueber die Farbe der Ionen, Abhandl. K. säch. Ges. d. Wissensch. 31; Zeitschr. phys. Chem. 3, 601 (1889); 9, 579 (1892). Vergl. auch Magnanini, Ebend. 12, 56; Wagner, ebend. 12, 314. O. Knoblauch, Wied. Ann. 43, 738 (1891); Ostwald, Zeitschr. phys. Chem. 9, 226. Ewan, Proc. Roy. Soc. 57, 117 (1895). — [2]) Stenger, Wied. Ann. 33, 577 (1888). — [3]) Gladstone, Phil. Mag. 14, 418 (1857).

standtheile proportional ist. Ueberdies ist zu berücksichtigen, dass der unzersetzte Antheil eines Salzes in verschiedenen Formen (z. B. in

Fig. 41.

Tafel von Absorptionsspectren.



Gestalt einfacher und polymerer Molekeln) zugegen sein kann. Wie in allen anderen Fällen, so gelangt man auch in diesem bei zunehmender Verdünnung zu dem einfachen Grenzfalle, dass die von unzersetzten Molekeln herrührenden Einflüsse verschwinden und die von den Ionen stammenden verbleiben. Das Spectrum einer sehr verdünnten Salzlösung wird somit die Summe der Spectra der Ionen des Salzes sein, und vereinfacht man den Fall weiter dahin, dass man eines der beiden Ionen so wählt, dass es in dem untersuchten Gebiete der Wellenlängen keine Absorption ausübt, also farblos ist, so wird das Spectrum der sämmtlichen Salze mit einem farbigen Ion und beliebigen farblosen Ionen in verdünnten Lösungen das gleiche sein müssen [1]).

Ostwald hat die Spectra von etwa 300 Salzen der Uebermangansäure, des Fluoresceïns, Eosins, Jodeosins, Tetrabromorcinphtaleïns, Dinitrofluoresceïns, der Rosolsäure, des Diazoresorcins (Resazurin), Diazoresorufins (Resorufin), der Chromoxalate, des Safrosins, Rosanilins, Anilinvioletts, Chrysanilins und Chrysoidins photographisch aufgenommen und seine Annahme ausnahmslos bestätigt gefunden. Als Ursachen, welche die Erkennung dieser einfachen Beziehung stören können, erkannte Ostwald einerseits im Falle schwacher Säuren oder Basen die Hydrolyse, andererseits die Bildung nicht löslicher und demgemäss nicht sich dissociirender Salze. Die erste Störung kann leicht durch Anwendung eines geeigneten Ueberschusses von dem zweiten Bestandtheile des Salzes, der Base oder Säure erkannt und unschädlich gemacht werden. Die zweite Störung kann unter Umständen sich der Erkennung durch den unmittelbaren Augenschein entziehen, wenn die entstehenden unlöslichen Salze sich in colloidaler Aufschlämmung befinden. Solche Fälle können aber, wenn eine Abscheidung durch die bekannten Mittel wegen der grossen Verdünnung der Lösung nicht gelingen sollte, durch die Abnahme des elektrischen Leitungsvermögens sicher erkannt werden.

Zusammenhang zwischen Molekularstructur und Absorptionsspectrum. Die gesetzmässigen Beziehungen zwischen chemischer Zusammensetzung und Lage der Absorptionsstreifen sind Gegenstand mannigfacher Untersuchungen gewesen, die, vorwiegend das Gebiet der organischen Chemie umfassend, vielfache Beziehungen der gedachten Art ergeben haben, aber ein allgemein gültiges Gesetz noch nicht erkennen lassen.

Absorption im sichtbaren Theile des Spectrums. Nachdem in älteren Arbeiten weniger die Beziehungen der Spectra zur chemischen Constitution als die allgemeine Beschaffenheit in das Auge gefasst war, untersuchte Landauer [2]) die Chrysoidine und verwandte Azofarbstoffe von bekannter Constitution, welche dadurch ein besonderes

---

[1]) Abgesehen vielleicht von secundären Einflüssen nach Maassgabe der Kundt'schen Regel. — [2]) Landauer, Ber. 14, 391 (1881).

Interesse darboten, dass die Chrysoidine die erste Gruppe von Verbindungen waren, in welcher man die Schattirung, vom Blassgelb bis zum Roth, willkürlich darzustellen vermochte. Obschon indessen die untersuchten Verbindungen eine seltene Auswahl der verschiedensten Abstufung in Bezug auf die chemische Constitution aufwiesen, ergaben die Spectra, wegen des von den Alkohol- und Wasserlösungen herrührenden unscharfen Aussehens, kaum mehr als die bemerkenswerthe Thatsache, dass, sobald in der Amidogruppe der Verbindungen Wasserstoff durch Methyl ersetzt wird, die Absorptionsstreifen eine auffallende Veränderung erleiden.

Viel erfolgreicher war G. Krüss bei der Untersuchung der Indigo-[1]) und der Fluoresceïngruppe[2]), wobei er zu folgenden Resultaten kam. Die Einführung von Methyl, Aethyl, Oxymethyl, d. h. derjenigen Gruppen, welche den Kohlenstoffgehalt der Verbindungen erhöhen, wie auch die Einführung der Carboxylgruppe an Stelle von Wasserstoff bewirkt eine Verschiebung der Absorptionen im Spectrum nach Roth. Das Gleiche wird durch Einführung von Brom bewirkt. Eine Verschiebung nach Blau tritt ein, sobald in einer organischen Verbindung Wasserstoff durch die Nitro- oder Amidogruppe ersetzt ist. Je mehr Wasserstoffatome substituirt sind, um so grösser sind die Verschiebungen der Dunkelheitsmaxima in den Absorptionsspectren, und zwar wachsen diese Verschiebungen bei analoger Substitution einer Verbindung durch gleiche Elemente oder Gruppen proportional der Anzahl der substituirten Wasserstoffatome.

Die Krüss'schen Sätze wurden von Liebermann und Kostanecki[3]) bei der spectroskopischen Untersuchung der methylirten Oxyanthrachinone und von Bernthsen und Goske[4]) bei dem Studium des Dimethyl- und Diäthylthionins bestätigt bis auf die proportionale Aenderung der Absorptionsstreifen gemäss der Anzahl in die Molekel eingetretener Elemente oder Gruppen. So beobachteten Bernthsen und Goske, dass sich beim Eintritt von zwei Methylgruppen in das Thionin der Absorptionsstreifen nur um etwa 20 $\mu\mu$ verschiebt, während bei der Zufuhr von zwei weiteren Methylgruppen die Aenderung etwa 45 $\mu\mu$ ausmacht. Später hat E. Vogel[5]) nachgewiesen, dass die von Krüss beobachtete Proportionalität der Verschiebungen der Absorptionsstreifen und der Zahl der substituirten Atome nicht die Regel, sondern die Ausnahme bildet. Bei den Eosinfarbstoffen hängt die Verschiebung nicht nur von der Zahl der substituirten Atome, sondern auch von ihrer Stellung ab. Die Verschiebungen weichen ab, je nachdem

---

[1]) G. Krüss u. S. Oeconomides, Ber. 16, 2051 (1883). — [2]) G. Krüss, Ebend. 18, 1426 (1885). — [3]) C. Liebermann u. v. Kostanecki, Ebend. 19, 2327 (1886). — [4]) Bernthsen u. Goske, Ebend. 20, 924 (1887). Ferner Bernthsen, Studium in der Methylenblaugruppe, Lieb. Ann. 230, 73 bis 211 (1885); Goske, Inaugural-Dissertation, Zürich 1887. — [5]) E. Vogel, Wied. Ann. 43, 449 (1891).

das substituirende Element in den Phtalsäurerest oder in die Resorcinreste des Fluoresceïns eintritt (bei Beobachtung der wässerigen Lösung). Ferner spielt die Stellung des substituirenden Elementes im Phtalsäurerest eine erhebliche Rolle und ist auch das Lösungsmittel von Einfluss.

Dass die Stellung der substituirenden Gruppen einen wesentlichen Einfluss auf die Grösse der Verschiebung der Absorptionsstreifen haben kann, hatte bereits H. W. Vogel [1]) bei der Untersuchung der methylirten Azofarbstoffe, insbesondere in ihren Lösungen in concentrirter Schwefelsäure, nachgewiesen. Diese Frage ist auch von Grebe [2]) an über hundert Azofarbstoffen studirt worden, wobei er zu folgenden Schlüssen kam:

Die Absorptionsstreifen von Schwefelsäurelösungen der Azofarben wandern bei zunehmendem Kohlenstoffgehalt derselben vom Violett nach Roth. Hydroxyl und Amid bewirken bei ihrem Eintritte Verschiebungen in demselben Sinne, und zwar bethätigt die Stellung dieser Substituenten einen durchaus regelmässigen Verlauf auf die Lage der Streifen; ist z. B. das Hydroxyl im Naphtalinrest substituirt, so absorbiren die α- Körper ausnahmslos um einen nahezu gleichen Betrag von circa 20 $\mu\mu$ weiter nach Roth, als die isomeren β-Verbindungen. Die Sulfogruppe bewirkt bei ihrem Eintritte in den Naphtalinrest eine Verschiebung im umgekehrten Sinne, deren Grösse nahezu constant 40 $\mu\mu$ beträgt. Ausserdem tritt die Zweistreifung klarer und deutlicher hervor. Auch die Stellung der Sulfogruppe übt einen durchaus regelmässigen Einfluss aus.

Angesichts des directen Zusammenhanges zwischen Farbe und Absorptionsspectrum ist an dieser Stelle noch die Theorie der Farbstoffe von Schütze [3]) zu erwähnen. Wie die Physik lehrt, erscheint die Mischung der Farben des Sonnenspectrums aus dem Grunde weiss, weil zu jeder einzelnen Farbe eine gleich starke complementäre existirt, die mit einander gemischt in unserem Auge die Weissempfindung erzeugen. Wird daher aus dem Spectrum eine Farbe durch Absorption ausgelöscht, so erscheint die durchstrahlte Schicht in ihrer Complementärfarbe. Sehr viele farblose Substanzen besitzen Absorptionsbanden im Ultraviolett; durch Einschiebung von Gruppen, welche die Absorptionsstreifen nach Roth verschieben („bathochromer" Gruppen), werden sie sich nach dem weniger brechbaren Ende des Spectrums verschieben, und es wird zunächst durch Eintritt einer Bande in das sichtbare Spectrum Violett ausgelöscht werden, wodurch die Substanz eine grünlichgelbe Färbung erhält.

Die Einführung „hypsochromer" Gruppen, d. h. solcher, welche die Absorptionsstreifen nach Violett verschieben, wirkt im entgegengesetzten Sinne. Da diese Gruppen zu den Ausnahmefällen gehören, kann man den schon von Nietzki 1877 rein empirisch aufgefundenen

[1]) H. W. Vogel, Sitzungsber. Berl. Akad. 34, 715 (1887); Ber. 21 c, 776. —
[2]) Grebe, Zeitschr. f. phys. Chem. 10, 673 (1893); Ber. 26 c. 130 (1893). —
[3]) Schütze, Zeitschr. phys. Chem. 9, 109 (1892); Meyer's Jahrb. 1892, S. 11.

Satz aufstellen, dass die einfachsten Farbstoffe grünlichgelb bis gelb sind, und dass mit zunehmendem Molekulargewicht die Farbe in Orange, Roth, Violett, Blau, Grün übergeht. Auch bei analogen Elementen hat die Erhöhung des Atomgewichtes eine Vertiefung der Farbe zur Folge, wofür die Reihe des farblosen Fluors, des grüngelben Chlors, des röthlichen Bromdampfes und des violetten Joddampfes als Beispiel dient.

Die Erfahrung lehrt, dass die Farbe vieler organischen Farbstoffe durch die Gegenwart gewisser Gruppen im Moleküle, z. B. die der Azoderivate durch die Gegenwart der Azogruppe, bedingt wird; dies legt die Vermuthung nahe, dass jene Gruppen gleichsam die Träger der Lichtabsorption im Moleküle sind, und dass die Aenderung der Farbe in Folge von Substitutionen durch eine Beeinflussung erzeugt wird, welche die substituirten Gruppen auf die farberzeugende ausüben[1]). O. N. Witt[2]), der diese Anschauungen zuerst entwickelte, bezeichnet die farberzeugenden Gruppen als Chromophore. Da diese Beeinflussung um so stärker sein wird, je näher die eingeführte Gruppe der farberzeugenden ist, so eröffnet diese Theorie die Perspective auf eine Abschätzung der gegenseitigen Entfernung der Gruppen im Molekül mittelst spectroskopischer Messungen. Thatsächlich konnte Schütze durch die spectroskopische Untersuchung einer Anzahl Azofarbstoffe nachweisen, dass die aus den Structurformeln abgeleitete Entfernung der Atome wenigstens im Grossen und Ganzen ihren auf dem angedeuteten Wege geschätzten Abständen entsprechen.

Absorption im Ultraviolett. Im Gebiete des ultravioletten Theiles haben zuerst Soret und Rilliet[3]) Beziehungen zwischen Spectrum und chemischer Constitution beobachtet. Die von ihnen untersuchten Aethyl-, Isobutyl-, Amyl-, Salpetersäure- und Salpetrigsäureäther eigneten sich zwar wenig zu solchen Arbeiten, weil sie wegen der einseitigen Absorption, welche sie ausüben, keine messbaren Absorptionsstreifen hervorbringen; ihre Spectren machten es aber wahrscheinlich, dass die Ersetzung eines Atomes Wasserstoff durch Methyl eine Verschiebung aller Absorptionsverhältnisse gegen Roth hin bewirkt. Diese Annahme wurde von Dunstan[4]) bestätigt, welcher fand, dass die Aufnahme von CH_2 in jeder homologen Reihe von einer Absorption des brechbareren Theiles des Spectrums begleitet ist, und dass die Länge des durchgelassenen Spectrums mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt abnimmt.

Sehr eingehende Untersuchungen über die im Ultraviolett beobachteten Beziehungen zwischen der Molekularstructur der Kohlenstoffverbindungen und deren Absorptionsspectrum hat Hartley zum Theil in Gemeinschaft mit Huntington[5]) angestellt. Die gesammten Versuche haben folgende Resultate ergeben:

---

[1]) Vergl. auch Hartley, Chem. Soc. J. 51, 152 (1887); Ber. 20, 131 (1887). — [2]) O. N. Witt, Ber. 9, 522 (1876). — [3]) J. L. Soret u. A. Rilliet, Compt. rend. 89, 747 (1879). — [4]) W. R. Dunstan, Pharmaceutical Soc. Journ. and Trans. 11, 54 (1880). — [5]) W. N. Hartley u. A. K. Hunting-

Die Alkohole C_nH_{2n+2}, Aether und Ester lassen die ultravioletten Strahlen in hohem Grade durch, der Methylalkohol fast ebenso stark wie Wasser. Die Fettsäuren zeigen für die brechbareren Strahlen im Ultraviolett ein stärkeres Absorptionsvermögen, als die correspondirenden Alkohole. Ein Auftreten von Absorptionsstreifen findet bei den genannten Körpern nicht statt. Bei den Alkoholen und Säuren nimmt mit steigendem Kohlenstoffgehalt das Absorptionsvermögen zu.

Benzol und die Derivate desselben (Phenole, Säuren und Amine) absorbiren die ultravioletten Strahlen kräftig und zeigen in dünnen Schichten starke Absorptionsbanden. Isomere Körper aus der Benzolgruppe geben Spectra, welche sowohl in der Stärke als auch in der Lage der Absorptionsstreifen von einander abweichen. Von den isomeren Kresolen und Dioxybenzolen übt die Metaverbindung die stärkste, die Paraverbindung die geringste Lichtabsorption aus; bei den Xylolen dagegen steht die Orthoverbindung und bei den Oxybenzoësäuren die Paraverbindung an erster Stelle. Dem Benzol und seinen Derivaten stehen in Bezug auf das Absorptionsvermögen die Terpene der Formel $C_{15}H_{24}$ und namentlich diejenigen der Formel $C_{10}H_{16}$ etwas nach. Die Spectra der isomeren Terpene sind verschieden.

Absorptionsstreifen werden nur von solchen molekularen Anordnungen der Kohlenstoffatome erzeugt, wo ein jedes mit drei anderen in der Art wie im Benzol verbunden ist. Die einfache Verbindung von Kohlenstoff mit Stickstoff bedingt keine auswählende Absorption ultravioletter Strahlen; wenn aber im Benzol- oder Naphtalinkern ein Stickstoffatom für ein Kohlenstoffatom substituirt wird, so bleibt die selective Absorption erhalten; sie wird aber vernichtet, sobald die Condensation des Kohlenstoffes oder Stickstoffes in dem Molekül eines Benzolderivates oder einer tertiären Base durch Addition je eines Wasserstoffatomes an jedes Kohlenstoff- oder Stickstoffatom modificirt wird. Wenn die Condensation der Kohlenstoffatome im Chinolinmolekül durch die Vereinigung desselben mit vier Wasserstoffatomen verändert wird, so wird die Intensität des Absorptionsstreifens vermindert, aber nicht zerstört.

Moleküle, die aus verschiedenartigen Bestandtheilen zusammengesetzt sind, schwingen als Ganzes, und die Grundschwingungen derselben erzeugen secundäre Schwingungen, welche in keiner erkennbaren Beziehung zu den chemischen Bestandtheilen des Moleküls stehen.

Hartley hat auch die Kohlehydrate und Albuminoide in den Kreis seiner Betrachtungen gezogen und nach physikalischen Beziehungen der löslichen Fermente zu den Kohlehydraten einerseits und zu den eigentlichen Eiweisskörpern andererseits gesucht. Während die

ton, Proc. Roy. Soc. 28, 233; 29, 290 (1879); Phil. Trans. 170, 257 (1879); Proc. Roy. Soc. 31, 1 (1880); Ber. 14, 501 (1881). W. N. Hartley, Chem. Soc. J. 47, 685 (1885); Ber. 18, 592 (1885); Chem. Soc. J. 50, 58 (1887); Ber. 20, 174 (1887); Chem. Soc. J. 53, 641; Ber. 21, 689 (1888).

Spectren von Eieralbumin, Serumalbumin und Caseïn gewisse, allen dreien gemeinsame Absorptionsstreifen zeigen, fehlen diese im Spectrum von Malzdiastase, Hefeinvertase, Gelatine, Stärke, Glycose und Saccharose, deren Lösungen sich als besonders durchlässig für die violetten und ultravioletten Strahlen erweisen. Die Albuminoide scheinen danach eine wesentlich andere Constitution zu besitzen, wie die Albnmine, und cs wird dadurch erklärlich, warum die letzteren nicht wie jene auf die Kohlehydrate einwirken können.

Absorption im Ultraroth. Ueber den Einfluss, welchen die Gruppirung der Atome organischer Körper auf ihre Absorption im infrarothen Theile des Spectrums ausübt, haben Abney und Festing[1]) ausgedehnte Untersuchungen ausgeführt. Von Substanzen, die Wasserstoff und Chlor, Wasscrstoff und Sauerstoff oder Wasscrstoff und Stickstoff enthielten, ausgehend, fanden sie, dass Salzsäure wenige Linien, Wasser Linien und Banden, Ammoniak und Salpetersäure scharfe Linien erzeugten; viele dicser Linien coincidirten und wurden auf Wasserstoff zurückgeführt. Auf welche Art der Wasserstoff frei fungirt und ein Linienspectrum hervorbringt, ist eine offene Frage, aber dass die lineare Absorption, welche die Kohlenwasserstoffe gemeinsam mit den Körpern zeigen, bei denen der Wasscrstoff in Verbindung mit Sauerstoff oder Stickstoff sich befindet, dem Wasserstoff zuzuschreiben ist, gilt als festgestellt.

Der Sauerstoff zeigt ein verschiedenes Verhalten, je nachdem er sich im Radical befindet oder nicht. In letzterem Falle scheint er den Zwischenraum zweicr Linien des Wasscrstoffs mit continuirlicher Absorption auszufüllen. Der Sauerstoff im Radical wirkt etwas verschieden; die Banden sind durch Linien begrenzt und sehen schärfer aus als in den Fällen, wo der Sauerstoff loser gebunden ist.

Die in organischen Verbindungen cnthaltenen Radicale sind durch gut markirte Bandcn charaktcrisirt, die sich vorwicgend zwischen ca. 700 $\mu\mu$ und 1000 $\mu\mu$ befinden. Einige Radicale haben eine bestimmte Absorption bci ungefähr 700 $\mu\mu$ und einc andere etwa bei 900 $\mu\mu$, und wo die erste erscheint, folgt beinahe immer, dass man die charakteristische Absorption des Radicals finden kann. In der Aethylreihe findet sich z. B. eine Absorption bci 742 $\mu\mu$ und eine charakteristische Bande, welche von 892 $\mu\mu$ bis 920 $\mu\mu$ rcicht. Bei der aromatischen Gruppe liegt die charakteristische Linie bei 867 $\mu\mu$. Bcim Verglcich der Spectra von Ammoniak, Benzol, Anilin und Dimethylanilin fallen die merkwürdigen Coincidenzen in die Augen; zugleich auch die kleinen Verschiebungen, welche durch die verschiedene Belastung der Moleküle hervorgebracht werden.

Die Entdeckung von Chlor, Brom und Jod in organischen Verbindungen ist Abney und Festing nicht gelungen.

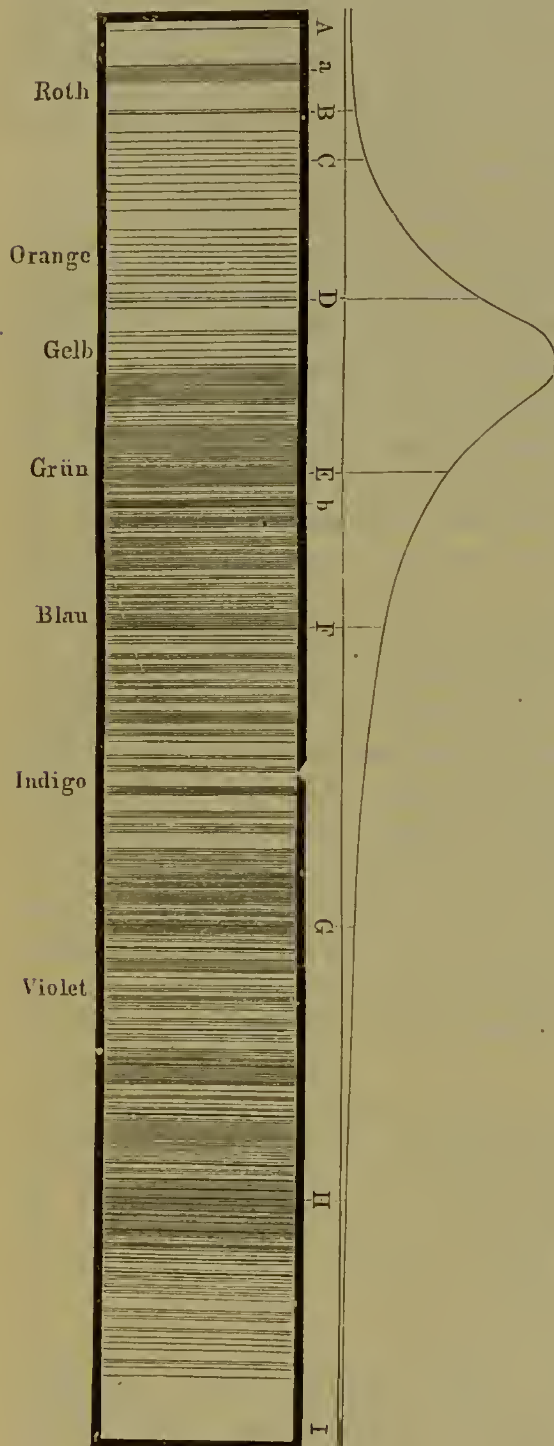
---

[1]) Abney u. Festing, Proc. Roy. Soc. 31, 416; 32, 258 (1881).

Das Sonnenspectrum.

Die Fraunhofer'schen Linien. Das Spectrum der Sonne ist das verwickeltste von allen Absorptionsspectren. Es ist durchzogen von einer Unzahl feiner Querlinien, die, nachdem Wollaston[1]) sie 1802 schon wahrgenommen, zuerst von Fraunhofer[2]) genau studirt wurden und nach ihm benannt worden sind. Fraunhofer entwarf vom Spectrum eine Zeichnung, die in Fig. 42 genau nachgebildet ist und etwa 350 Linien enthält; die stärksten wurden mit den lateinischen Buchstaben *A* bis *H* bezeichnet. Durch genaue Messungen stellte Fraunhofer fest, dass die Linien stets dieselben Stellen im Spectrum einnehmen, und dass die relative Entfernung zwischen je zwei von ihnen constant ist. Da das Spectrum des von dem Monde und den Planeten reflectirten Lichtes mit dem Sonnenspectrum identisch war, während das Spectrum des Sirius und anderer Fixsterne damit nicht übereinstimmte, gelangte Fraunhofer zu der Ueberzeugung, dass der Ursprung dieser Linien nicht in der Erdatmosphäre, sondern in der Sonne und den Fixsternen zu suchen ist. Die Entstehungsursache der Linien blieb ihm indessen verborgen, obwohl er 1824 das Zusammenfallen der beiden Natriumlinien mit der Doppellinie *D* des Sonnenspectrums wahrnahm. Einige

Fig. 42.



[1]) Wollaston, Phil. Trans. 1802, p. 365. — [2]) Fraunhofer, Denkschr. d. Münchener Akad. 1814, 1815.

Jahre später entdeckte Brewster[1]), dass im Sonnenspectrum neue Linien sichtbar werden, wenn die Sonne untergeht und ihre Strahlen eine grössere Schicht der Atmosphäre durchmessen. Diese Linien entstehen durch Absorption in der Erdatmosphäre und wurden zuerst von Brewster[2]) und von Brewster und Gladstone[3]) genau aufgezeichnet.

Nachdem dann Angström und Andere der richtigen Erklärung der Fraunhofer'schen Linien nahe gewesen waren, wurde ihr Ursprung 1859 von Kirchhoff[4]) auf Grund des von ihm kurz zuvor begründeten Gesetzes (s. S. 58) klar gelegt. In Folge der hierdurch eröffneten Aussicht, die Bestandtheile der Sonne und anderer Gestirne zu ermitteln, gewannen die Fraunhofer'schen Linien eine ausserordentliche Tragweite. Um solche zu verwirklichen, mussten sowohl diese Linien wie auch diejenigen der Elemente sorgfältiger, als bislang geschehen, gemessen werden, was Kirchhoff[5]) mit einer für die damaligen Hülfsmittel bemerkenswerthen Genauigkeit that. Während Kirchhoff sich in Folge der Benutzung von Prismen einer willkürlichen Scala bediente, wandte Angström für seinen 1868 erschienenen Atlas des Sonnenspectrums wieder die Methode Fraunhofer's an, welcher mit Hülfe von Gittern Messungen der Lichtwellen ausgeführt hatte. Durch Bestimmung von ungefähr 1000 Linien konnte er ein normales Spectrum entwerfen, das auf die Wellenlängen und nicht auf den Brechungsexponenten gegründet war. Der Angström'sche Atlas hat über 20 Jahre allen Wellenlängenbestimmungen zur Grundlage gedient. An Genauigkeit wurde er auch kaum von den ausführlicheren Spectralkarten übertroffen, welche H. C. Vogel[6]) in Verbindung mit Müller, Fiévez[7]), Piazzi-Smyth[8]), Thollon[9]) und Young herausgaben. Den ausser dem Bereiche der Sichtbarkeit belegenen ultravioletten Theil des Spectrums haben Mascart[10]), Draper[11]) und namentlich Cornu[12]) bearbeitet, von denen Letzterer sich an Angström in Bezug auf Scala und Wellenlängen anschloss. Den ultrarothen Theil photographirte Abney[13]) mit den von ihm erfundenen, dafür empfindlichen Platten, und zwar zuerst unter Verwen-

---

[1]) Brewster, Phil. Trans. Edinb. 1833. — [2]) Ders., Phil. Mag. [3] 8, 384; Pogg. Ann. 38, 50 (1836). — [3]) Brewster u. Gladstone, Phil. Trans. 150, 149 (1860). — [4]) Kirchhoff, Monatsber. Berl. Akad. v. 27. Oct. 1859. — [5]) Ders., Abhandl. Berl. Akad. 1861. — [6]) Vogel, Publicationen des Astrophys. Obs. zu Potsdam 1 (1879). — [7]) Fiévez, Annales de l'Observatoire Royal de Bruxelles [3] 4 (1882); 5 (1883). — [8]) Piazzi-Smyth, Trans. Roy. Soc. Edinb. 29, 285 (1880); 32, 37, 233, 519. — [9]) Thollon, Compt. rend. 88, 80; Ann. de l'Observ. de Nice 3 (1890). — [10]) Mascart, Ann. de l'École normale sup. 1 (1864). — [11]) Draper, Sillim. Journ. 1873; Pogg. Ann. 151 (1874). — [12]) Cornu, Compt. rend. 86, 101, 315, 530; Ann. de l'École norm. [2] 3, 421; 9, 21; Spectre normal du soleil, Paris 1881. — [13]) Abney, Phil. Mag. [5] 6, 154; 11, 300; Phil. Trans. 171, 653 (1880); 177, (1886); Wied. Ann. Beibl. 4, 375; 5, 507, 509. Abney u. Festing, Proc. Roy. Soc. 35, 80, 324; Wied. Ann. Beibl. 8, 507.

dung von Prismen, später unter Benutzung eines Rowland'schen Concavgitters. Ausser ihm hat Lommel[1]) die ultrarothen Fraunhofer'schen Linien photographirt, während Langley[2]) sie mit dem Bolometer (s. S. 48) untersucht hat. Mascart und Cornu haben die Fraunhofer'sche Bezeichnung der Linien durch lateinische Buchstaben bis $U = 2948$ A.-E. fortgesetzt, während Abney folgende Zeichen für das Infraroth einführte:

ψ_2 }	27 000	Y {	8990,4	X_2	8541,8	bezogen auf die Angström'sche Scala.
ψ_1 }			8986,5	X_1	8497,0	
φ_2	12 400	X_4	8806,1			
φ_1	12 000	X_3	8661,4	Z	8226,4	

Da sich nach Angström's Tode herausstellte, dass seine Zahlen in Folge einer unrichtigen Bestimmung des zu den Messungen benutzten Meterstabes um ungefähr $^1/_{6000}$ zu klein waren, so machte sich das Bedürfniss nach exacteren Wellenlängenbestimmungen von Neuem geltend. Dieser Aufgabe unterzogen sich Müller und Kempf[3]) durch sorgfältige Messung von 300 Sonnenlinien und fast gleichzeitig Rowland, der 1886 die erste Auflage seines photographischen Atlas des normalen Sonnenspectrums herausgab. Eine neue und wesentlich vervollkommnete Ausgabe[4]) folgte 1889; sie besteht aus zehn Tafeln, von denen jede 3 × 2 Fuss gross ist und zwei Spectralstreifen enthält. Die Tafeln umfassen die Wellenlängen 3000 bis 6950 A.-E. und sind mit einer Scala versehen, deren grösste Abweichung von der richtigen Lage weniger als 0,05 A.-E. beträgt. Als eigenes Werk der Sonne selbst, sind die Photographien allen durch Messung und Zeichnung hergestellten Darstellungen bedeutend überlegen.

Als Ergänzung zu diesem Atlas hat Rowland[5]) als Resultat zehnjähriger Beobachtungen eine Tabelle der Wellenlängen zahlreicher Sonnen- und Metalllinien herausgegeben, welche mit Hülfe seiner Coincidenzmethode bestimmt wurden und bis auf 0,01 A.-E. genau sind; bei zahlreichen Messungen wurde sogar eine Genauigkeit bis auf 0,001 A.-E. oder 1 : 5 000 000 der Wellenlänge erreicht. Die Grundlage seiner Normalen bildet der von Rowland (s. S. 71) zu 5896,156 angenommene Werth der D_1-Linie.

Wegen der grossen Bedeutung, welche die genauen Messungen der Sonnenlinien für die Erforschung der Sonnenbestandtheile und für die Ortsbestimmung im Spectrum besitzen, geben wir im Folgenden das Rowland'sche Verzeichniss der Fraunhofer'schen Linien voll-

---

[1]) Vergl. S. 49. — [2]) Langley, Sillim. Journ. [3] 25, 28, 31, 32 (1886); 36 (1888); 38 (1889); Wied. Ann. 19, 226, 384 (1883); 22 (1884); Beibl. 9, 335. — [3]) Müller u. Kempf, Publicat. d. Astrophys. Obs. zu Potsdam 5 (1886). — [4]) Rowland, Photographic Map of the Normal Solar Spectrum. Baltimore, Md., Johns Hopkins Press. Der Preis der 10 Tafeln beträgt 20 Doll., der einer einzelnen $2^1/_2$ Doll. — [5]) Rowland, Astronomy and Astrophysics 12, 321 (1893); Phil. Mag. [5] 36, 49 (1894).

ständig wieder. Die den Zahlen vorangestellten Buchstaben sind die übliche Bezeichnung für die Linien, die beigefügten chemischen Symbole deuten das Element an, mit dessen Linie die Sonnenlinie zusammenfällt. Ein Fragezeichen nach einem Symbol zeigt an, dass es zweifelhaft ist, ob die Linie dem Element zukommt. Wo zwei Zeichen auf einer Linie angegeben sind (z. B. 3295,957 Mn-Di), soll angedeutet werden, dass die beiden Elemente bei dieser Wellenlänge scheinbar coincidirende Linien haben. Sind zwei oder mehr Symbole durch Klammern verbunden, so besagt dies, dass die Linie des ersten Elementes mit einer Seite der correspondirenden Sonnenlinie, die des zweiten mit der Mitte u. s. w. zusammenfällt. Wo das der gegebenen Wellenlänge entsprechende Element unbekannt ist, wurde dies durch ein Fragezeichen angegeben, und wo die Absorption von dem Sauerstoff oder dem Wasserdampf der Erdatmosphäre herrührt, dies durch atm. (O) bezw. atm. (H_2O) bezeichnet.

Alle Wellenlängen sind in Angström'schen Einheiten angegeben und auf Luft von 20° C. und 760 mm Druck bezogen.

Rowland's Wellenlängentafel der Fraunhofer'schen Linien,

bezogen auf $D_1 = 5896,156$ A.-E. und auf Luft von 20° C. und 760 mm Druck.

3005,160	?	3075,339	Ti	3115,160	Fe
3005,404	?	3075,849	Fe	3121,275	Va
3012,557	?	3077,216	Fe	3129,882	Zr
3014,274	?	3077,303	?	3134,223	Ni
3016,296	Fe	3078,148	Fe?	3137,441	Co
3024,475	?	3078,759	Ti	3140,869	Fe
3025,394	?	3079,724	Mn	3153,870	Fe
3025,958	Fe	3080,863	?	3158,988	Ca
3035,850	?	3082,272	Al	3167,290	Mn
3037,492	Fe	3083,849	Fe	3172,175	Fe?
3044,119	Ca [? Co]	3086,891	?	3176,104	La?
3044,683	Mn	3088,137	Ti	3188,164	Cr?
3046,778	?	3092,824	Al	3195,702	Ni
3047,720	Fe	3092,962	Al	3200,032	Ti
3050,212	?	3094,739	?	3214,152	Fe
3053,173	Fe	3095,003	Fe	3218,390	Ti
3053,527	?	3100,064	Fe	3219,697	Fe
3055,821	?	3100,415	Fe (Mn)	3219,909	Fe
3057,557	Fe	3100,779	Fe	3222,203	Fe? }
3059,200	Fe	3101,673	Ni		? }
3061,098	?	3101,994	Ni	3224,368	Ti
3061,930	Co	3106,677	?	3225,923	Fe
3067,363	Fe	3109,434	Cr?		

3231,421	Ti ?
3232,404	Ti
3236,697	Ti
3246,124	? Fe
3247,680	Cu
3260,384	Mn Ti Fe
3267,839	Va
3274,092	Cu
3287,791	Ti
3292,174	Fe Co-T
3295,957	Mn-Di
3302,501	Na
3303,107	Na
3303,648	? Fe
3306,117	Fe
3306,471	Fe
3308,928	Mn Co-Ti
3318,163	Ti
3331,741	Fe
3348,011	Cr Fe
3351,877	Fe
3356,222	Zr
3377,667	Ti Ti
3389,887	Fe
3405,272	Co Ti
3406,581	Fe
3406,955	Fe
3425,721	?
3427,282	Fe
3440,759	Fe
[O] 3441,135	Fe
3444,032	Fe
3455,384	Co
3464,609	Sr?
3465,991	Co Fe
3475,594	Fe
3476,831	Fe

3478,001	Co Fe Ni
3486,036	Ni
3490,721	Fe
3491,464	Co ?
3497,264	Fe
3497,991	Fe ?
3500,721	Fe
3500,993	Ni
3510,987	Ti
3513,947	Fe
3518,487	Co
3521,404	Fe
3540,266	Fe
3545,333	?
3549,145	Yt
3550,006	Fe
3558,670	Fe
3564,680	Ti Fe
3565,528	Fe
3570,225	Fe
3570,402	Fe
[N] 3581,344	Fe
3583,483	Fe?
3584,662	Yt
3585,992	C
3586,041	C
3590,523	C
3597,192	Fe
3600,880	Yt(Fe)
3602,061	Yt
3605,483	Cr
3605,635	Fe
3606,831	Fe
3609,015	Fe
3611,193	Yt
3612,217	Fe
3617,920	Ca Fe
3618,924	Fe
3621,122	Yt
3621,606	Fe
3622,147	Fe
3623,332	Fe

3623,603	Fe
3628,853	Yt
3631,619	Fe
3633,259	Yt
3635,616	Ti
3638,435	Fe
3640,536	Cr Fe
3647,995	Fe
3652,692	Co
3653,639	Ti
3658,688	Mn Fe
3667,397	Fe
3680,064	Fe
3683,202	Co Fe Va
3683,622	Pb
3684,259	Fe
3687,607	Fe
3694,349	Yt
3695,194	Fe
3705,711	Fe
3707,186	Fe
3709,397	Fe
3710,438	Yt
3716,585	Fe
3720,086	Fe
3722,691	Ni Fe-Ti
[M] 3727,763	Fe
3732,542	Fe
3733,467	Fe
3735,014	Fe
3736,969	Ni Mn
3737,075	Ca
3737,282	Fe
3743,502	Ti Fe Cr
3745,701	Fe
3746,054	Fe
3747,095	Fe ?
3748,409	Fe
3749,633	Fe

3754,664	? ?
3756,211	Fe
3758,379	Fe
3763,942	Fe
3767,344	Fe
3770,130	Fe
3774,480	Yt?
3780,846	?
3781,330	Fe
3783,674	Ni
3788,032	Fe
3794,014	Fe-Cr
3795,150	Fe
3798,662	Fe
3799,698	Fe
3804,153	Fe
3805,487	Fe-Di
[L] 3815,985	Fe
3820,567	Fe
3821,318	Fe
3823,651	Mn(Cr)
3826,024	Fe
3827,973	Fe
3829,505	Mg
3832,446	Mg
3836,226	?-C
3836,652	C
3838,430	Mg
3840,584	Fe
3843,406	Fe
3856,517	Fe
3860,048	Fe
3864,441	C
3871,528	C
3875,224	? Va
3883,472	C
3883,548	C
3883,773	Cr
3886,427	Fe
3897,599	Fe
3905,666	Si
3916,875	Fe
3924,669	Ti
3925,345	Fe Va
3925,792	Fe

3926,123	Fe ?
3928,071	Fe
[K] 3933,809	Ca
3937,474	Fe
3941,021	Fe-Co
3942,559	? Fe
3944,159	Al
3949,034	Ca
3950,101	Fe
3950,497	Yt
3954,001	Fe
3957,180	Fe-Ca
3960,429	Fe
3961,676	Al
[H] 3968,620	Ca
3971,478	Fe
3973,835	Ca
3977,891	Fe
3981,914	Fe-Ti
3984,078	Cr Fe
3986,903	? Mn
3987,216	? Mn Co
4003,916	Ce-Fe-Ti
4005,305	Fe-?
4016,578	Fe
4029,796	Fe Zr
4030,914	Mn
4033,225	Mn
4034,641	Mn
4035,88	Mn
4044,293	K
4045,975	Fe
4048,893	Zr Mn Cr
4055,701	Mn
4062,602	Fe
4063,756	Fe
4071,904	Fe
4073,920	Fe
4077,883	Sr

4083,767	Fe Mn
4083,928	Fe
4088,716	Fe
4103,101	Si Mn
4107,646	Fe
4114,600	Fe
4121,481	Cr Co
4121,968	Fe-Cr
4157,948	Fe
4185,063	Fe
4197,251	C
4199,263	Zr Fe
4202,188	Fe
4215,616	Fe
4215,667	
4215,687	Sr
4216,137	C
4222,381	Fe
[g] 4226,892	Ca
4250,290	Fe
4250,956	Fe
4254,502	Cr
4260,638	Fe
4267,958	? Fe
4271,924	Fe
4274,958	Cr
4283,170	Ca
4289,523	Ca
4289,881	Cr
4293,249	?
4299,152	Ca
4302,689	Ca
4305,636	Sr
4306,071	Ti
4307,904	Ca
[G] 4308,034	
4308,071	Fe
4318,818	Ca
[f] 4325,940	Fe
4343,387	Cr Fe
4352,903	Fe

4359,778	Ni	4680,319	Zn	5020,210	Ti
	Cr	4683,743	Fe	5036,113	Ti
	Zr	4686,395	Ni		Ni
4369,943	Fe	4690,324	?	5041,795	Ca
4376,103	Fe	4691,581	Ti	5050,008	Fe
[d] 4383,721	Fe		Fe	5060,252	Fe
4391,149	Fe	4703,180	Mg	5064,833	Ti
	Ti	4703,986	Ni	5068,946	Fe
4404,927	Fe	4714,599	Ni	5083,525	Fe
4407,850	Va	4722,349	Zn	5090,959	Fe
	Fe	4727,628	Fe	5097,176	Fe
4413,181	Cd		Mn	5105,719	Fe (Cu)
4415,299	Fe	4754,226	Mn	5109,825	Fe
4425,609	Ca	4783,601	Mn	5110,570	?
4435,132	Ca	4805,253	?		Fe
4435,852	Ca		Ti	5115,558	Ni
4447,899	Fe	4810,723	Zn	5121,797	Ni
4454,950	Ca	4823,697	Mn		Fe
4456,047	Ca	4824,325	Fe?	5126,369	Co
4456,793	Ca	4859,934	Fe	5127,530	Fe
4494,735	Fe	[F] 4861,496	H	5133,871	Fe
4497,041	Cr	4890,945	Fe		?
	Zr	4900,098	Ti	5139,437	Fe
4499,070	Mn	4900,306	Yt	5139,539	
4499,315	?	4903,488	Cr	5139,645	Fe
4501,444	Ti		Fe	5141,916	Fe
4508,456	Ti?	4919,183	Fe	5142,967	Ni
4554,213	Ba	4920,682	Fe	5143,042	
4563,939	Ti	4924,109	Fe	5143,106	Fe
4571,277	Mg	4924,955	Fe	5146,664	Ni
4572,157	Ti	4934,247	Ba		?
4578,731	Ca-Ti	4957,482	Fe	5151,026	Fe
4588,384	Cr?	4957,786	Fe		Mn
4590,129	Ti?	4973,274	Ti	5154,237	Ti? Co?
4602,183	Fe		Fe	5155,937	Ni
4607,509	Sr	4978,782	?	5159,240	Fe?
4611,453	?		Fe	5162,448	Fe
	Fe	4980,362	Ni	5165,190	C
4629,515	Ti		?	5165,588	Fe
	Co	4981,915	Ti	5167,501	Mg
4637,683	Fe	4994,316	Fe	[b_4] 5167,572	
4638,194	Fe	4999,693	Ti-La	5167,686	Fe
4643,645	Fe	5005,904	Fe	5169,066	Fe
4648,835	Ni	5006,303	Fe	[b_3] 5169,161	
4668,303	?	5007,431	Ti	5169,218	Fe
	Fe		Fe	5171,783	Fe
4678,353	Cd	5014,422	(Ni) Ti	[b_2] 5172,871	Mg
4679,028	Fe		Ti	5173,912	Ti

[b_1] 5183,792	Mg
5188,863	Ti
5188,948	
5189,020	Ca
5193,139	Ti
5198,885	Fe
5202,483	? Fe
5204,708	Cr Fe
5210,556	Ti
5215,352	Fe
5217,559	Fe
5225,690	Fe
5230,014	Fe
5233,124	Fe
5242,662	Fe
5250,391	Fe
5250,825	Fe
5253,649	Fe
5260,557	Ca
5261,880	Ca Cr
5262,341	?
5262,391	Ca
5264,327	Cr
5264,371	
5264,395	Ca
5265,727	Ca
5265,789	
5265,884	(Ni ?) Cr
5266,729	Fe
[E_2] 5269,722	Fe
5270,448	Ca
[E_1] 5270,495	
5270,533	Fe
5273,344	Fe
5273,443	
5273,554	Fe
5276,205	? Cr Co
5281,968	Fe
5283,803	Fe
5288,708	Fe
5296,873	Cr
5300,918	Cr

5307,546	Fe
5316,790	Fe ?
[1474] 5316,870	
5316,950	Co ?
5324,373	Fe
5333,092	Fe ?
5349,623	Ca
5353,592	Fe-Ni
5361,813	?
5363,011	Fe(Co)
5363,056	?
5367,670	Fe
5370,165	Fe
5371,686	Ni Fe-Cr
5379,776	Fe
5383,576	Fe
5389,683	Fe
5393,378	Fe
5397,346	Fe
5405,987	Fe
5410,000	Cr
5415,421	Fe Va
5424,284	Va Fe
5434,742	Fe
5447,130	Fe
5455,666	Fe ?
5455,759	
5455,826	Fe
5462,732	Ni
5463,174	Fe
5463,493	Fe
5466,608	Fe
5477,128	Ni
5487,968	Fe
5497,731	Fe
5501,685	Fe
5507,000	Fe
5513,207	Ca
5528,636	Mg
5535,073	Fe
5543,418	Fe
5544,158	Fe
5555,113	Fe
5569,848	Fe
5576,319	Fe

5582,195	Ca
5588,980	Ca
5590,342	Ca
5594,695	Ca
5598,555	Fe
5598,715	Ca
5601,501	Ca
5603,097	Fe Ca Fe
5615,526	Fe
5615,879	Fe
5624,253	Fe
5624,768	Fe-Va
5634,167	Fe
5641,661	Fe
5645,835	Si
5655,707	Fe
5658,096	Yt ?
5662,745	Fe
5675,648	Ti
5679,249	Fe
5682,861	Na
5688,434	Na
5701,769	Fe
5708,620	Si
5709,616	Fe
5709,760	Ni
5711,318	Mg
5715,309	Ni Fe-Ti
5731,973	Fe
5742,066	Fe
5752,257	Fe
5753,342	Fe
5754,884	Ni ?
5763,215	Fe
5772,360	Si
5775,304	Fe
5782,346	Cu ? Co ?
5784,081	Cr
5788,136	Cr
5791,207	Cr Fe
5798,087	?
5798,400	Fe
5805,448	Ni

5806,954	Fe
5809,437	Fe
5816,594	Fe
5831,832	Ni
5853,903	Ba
5857,672	Ca
5859,810	Fe
5862,580	Fe
[D_3] 5875,982	He
5884,048	Fe atm. (H_2O)
5889,854	atm. (H_2O)
[D_2] 5890,182	Na
5893,098	Ni
[D_1] 5896,154	Na
5898,395	atm. (H_2O) Fe?
5901,681	atm. (H_2O) Fe?
5905,895	Fe
5914,384	Fe. ?-atm. (H_2O)
5916,475	Fe
5919,855	atm. (H_2O)
5930,410	Fe
5934,883	Fe
5948,761	Si
5956,925	Fe
5975,576	Fe
5977,005	Fe
5977,254	atm. (H_2O)
5985,044	Fe
5987,286	Fe
6003,245	Fe
6008,196	Fe
6008,782	Fe
6013,717	Mn
6016,856	Mn
6020,347	? Fe
6022,017	Mn
6024,280	Fe
6027,265	Fe
6042,316	Fe
6056,232	Fe
6065,708	Fe
6078,709	Fe
6079,223	Fe

6102,408	Fe
6102,941	Ca Fe
6103,449	?
6108,338	Ni
6111,287	Ni
6116,415	Fe
6122,428	Ca
6136,834	Fe
6141,934	Fe-Ba
6154,431	Na
6160,970	Na
6162,383	Ca
6169,260	Ca
6169,775	Ca
6173,554	Fe
6177,028	Ni
6180,419	Fe
6191,397	Ni
6191,770	Fe
6200,533	Fe
6213,646	Fe
6219,493	Fe
6230,946	Fe-Va
6237,529	?
6246,530	Fe
6252,776	Fe
6254,454	Fe
6256,574	Ni Fe
6261,316	Ti
6265,347	Fe
6270,439	Fe
[α] 6278,289	atm. (O)
6281,374	atm. (O)
6289,608	atm. (O)
6293,152	atm. (O)
6296,144	atm. (O)
6301,719	Fe
6314,874	Ni
6315,541	Fe
6318,242	Fe-(Ca)
6322,912	Fe
6335,550	Fe
6337,042	Fe
6344,370	Fe
6355,259	Fe
6358,902	Fe

6378,461	Ni
6380,951	Fe
6393,818	Fe
6400,200	Fe
6400,509	Fe
6408,231	Fe
6411,864	Fe
6420,171	Fe
6421,569	Fe
6431,063	Fe
6439,298	Ca
6450,029	Ca
6462,835	Ca Fe
6471,881	Ca
6480,264	atm. (H_2O)
6482,099	?
6494,001	Ca
6495,209	Fe
6499,871	Ca
6516,315	?
6518,594	Fe
6532,546	atm. (H_2O)
6534,173	?
6546,486	Ti Fe
6552,840	atm. (H_2O)
[C] 6563,054	H
6569,461	Fe
6572,312	atm. (H_2O)
6574,477	?
6575,179	Fe
6593,161	Fe
6594,115	Fe
6609,354	Fe
6633,992	Fe
6643,882	Ni
6663,525	?
6663,696	Fe
6678,232	Fe
6703,813	?
6705,353	?
6717,934	Ca
6722,095	?
6726,923	Fe
6750,412	Fe
6752,962	Fe
6768,044	Ni

6772,565	Ni	6908,785	atm. (O)	7186,552	atm. (H_2O ?)
6787,137	Fe	6909,675	atm. (O)	7193,921	atm. (H_2O)
6807,100	Fe	6913,454	atm. (O)	7200,753	atm. (H_2O)
6810,519	Fe	6914,328	atm. (O)	7201,468	atm. (H_2O)
6820,614	Fe	6914,819	Ni	7216,812	atm. (H_2O ?)
6828,850	Fe	6916,957	?	7223,930	?
6841,591	Fe	6918,363	atm. (O)	7227,765	?
6843,908	Fe	6919,245	atm. (O)	7232,509	?
6855,425	Fe	6923,557	atm. (O)	7233,171	?
6867,461	atm. (O)	6924,420	atm. (O)	7240,972	atm. (H_2O)
6867,800	atm. (O)	6928,992	atm. (O)	7243,904	atm. (H_2O)
6868,124	atm. (O)	6929,838	atm. (O)	7247,461	atm. (H_2O)?
6868,393	atm. (O)	6934,646	atm. (O)	7264,851	atm. (H_2O)?
6868,779	atm. (O)	6935,530	atm. (O)	7265,833	atm. (H_2O)?
6869,141	atm. (O) }	6947,781	atm. (H_2O ?)	7270,205	?
6869,347	atm. (O) }	6953,838	atm. (H_2O ?)	7273,256	atm. (H_2O)?
[B] 6870,186	atm. (O)		atm. ?	7287,689	atm. (H_2O)?
6871,179	atm. (O)	6956,700	atm. (H_2O)	7290,714	atm. (H_2O)?
6871,527	atm. (O)	6959,708	atm. (H_2O ?)	7300,056	atm. (H_2O)
6872,493	atm. (O)	6961,518	atm. (H_2O ?)	7304,475	atm. (H_2O)?
6873,076	atm. (O)	6978,655	?	7318,818	atm. (H_2O)?
6874,039	atm. (O)	6986,832	atm. (H_2O)	7321,056	?
6874,884	atm. (O)	6989,240	atm. (H_2O ?)	7331,206	?
6875,826	atm. (O)	6999,174	atm. (H_2O ?)	7389,696	?
6876,957	atm. (O)	7000,143	?	7409,554	?
6877,878	atm. (O)	7006,160	?	7446,038	?
6879,294	atm. (O)	7011,585	?	7462,609	?
6880,176	atm. (O)	7016,279	atm. (H_2O ?)	7495,351	?
6881,970	Cr	7016,690	atm. (H_2O ?)	7511,286	?
6882,772	Cr	7023,225	?	7545,921	?
6883,318	Cr	7023,747	?	[A] { 7594,059	atm. (O)
6884,083	atm. (O)	7024,988	?	[A] { 7621,277	atm. (O)
6886,008	atm. (O)	7027,199	?	7623,526	atm. (O)
6886,987	atm. (O)	7027,726	?	7624,853	atm. (O)
6889,194	atm. (O)	7035,159	?	7627,232	atm. (O)
6890,149	atm. (O)	7038,470	?	7628,585	atm. (O)
6892,614	atm. (O)	7040,058	?	7659,658	atm. (O)
6893,559	atm. (O)	7090,645	?	7660,778	atm. (O)
6896,292	atm. (O)	7122,491	?	7665,265	atm. (O)
6897,195	atm. (O)	7147,942	?	7666,239	atm. (O)
6900,199	atm. (O)	7148,427	?	7670,993	atm. (O)
6901,113	atm. (O)	7168,191	?	7671,994	atm. (O)
6904,358	atm. (O)	7176,347	atm. (H_2O)?	7699,374	?
6905,263	atm. (O)	7184,781	atm. (H_2O ?)	7714,686	?

Die chemische Zusammensetzung der Sonne. Nach der Begründung des Kirchhoff'schen Gesetzes und der experimentellen Umkehrung der Natriumlinien [1]) lag es nahe, die chemische Zusammensetzung der Sonne in den Kreis der Forschung zu ziehen. Zur Vergleichung der Sonnen- und Metalllinien fertigte Kirchhoff genaue Zeichnungen der Spectra an. Indem er sich der Fraunhofer'schen Linien für die Positionsbestimmung der Metalllinien bediente, fiel ihm auf, dass alle von ihm beobachteten Eisenlinien mit dunklen Linien im Sonnenspectrum zusammenfielen. Durch Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung stellte Kirchhoff [2]) fest, dass die Wahrscheinlichkeit, die Coincidenz von nur 60 übereinstimmenden Linien könne bei Berücksichtigung des Abstandes ein Werk des Zufalles sein, erheblich geringer ist als 1 : Trillion. Diese Wahrscheinlichkeit wird, wie Kirchhoff hinzufügte, noch weiter dadurch vermindert, dass je heller eine Eisenlinie, desto dunkler in der Regel die entsprechende Fraunhofer'sche Linie ist. Als einzige Ursache dieser Uebereinstimmung nahm er an, dass die Lichtstrahlen, welche das Sonnenspectrum geben, durch Eisendämpfe gegangen sind und die von diesen ausgeübte Absorption erlitten haben. In der Erdatmosphäre kann man aber unmöglich Eisendämpfe in solcher Menge annehmen, dass dadurch die Absorptionslinien im Sonnenspectrum hervorgerufen werden können, um so weniger, als diese Linien keine merkbare Veränderung erleiden, wenn die Sonne sich dem Horizont nähert. Bei der Höhe der Temperatur, die der Sonne zugeschrieben werden muss, steht der Annahme von Eisendämpfen in der Sonnenatmosphäre nichts entgegen.

Nachdem so die Gegenwart eines irdischen Stoffes in der Sonnenatmosphäre festgestellt und durch dieselbe eine grosse Zahl der Fraunhofer'schen Linien erklärt war, gelang es Kirchhoff, die Anwesenheit von Calcium, Magnesium, Natrium, Chrom, Barium, Kupfer, Zink und Nickel nachzuweisen. In Bezug auf Kobalt, das wie Nickel ein steter Begleiter des Eisens in den Meteormassen ist, hielt er sein Urtheil zurück. Die übrigen von ihm untersuchten Metalle: Gold, Silber, Quecksilber, Aluminium, Zinn, Blei, Antimon, Arsen, Strontium und Lithium schienen in der Sonnenatmosphäre nicht sichtbar zu sein.

Durch die Untersuchungen, welche Angström und Thalén [3]) theils gemeinsam, theils unabhängig von einander ausführten, konnte die Zahl der Sonnenelemente vermehrt und der Ursprung von etwa 800 Fraunhofer'schen Linien erklärt werden. Folgende Zusammenstellung zeigt, wie viele von den in der Angström'schen Spectraltafel enthaltenen Linien von bekannten Substanzen herrühren:

---

[1]) Vergl. S. 58. — [2]) Kirchhoff, Untersuchungen über das Sonnenspectrum. Abhandl. Berl. Akad. 1861. — [3]) Angström, Recherches sur le spectre solaire, Upsal. 1868.

Substanzen	Zahl der Linien	Substanzen	Zahl der Linien
Wasserstoff	4	Mangan	57
Natrium	9	Chrom	18
Barium	11	Kobalt	19
Calcium	75	Nickel	33
Magnesium	4 + (3?)	Zink	2?
Aluminium	2?	Kupfer	7
Eisen	450	Titan	118

Eine wesentliche Erweiterung dieser Liste und zugleich eine Aufklärung einiger zweifelhaften Punkte brachte Lockyer [1]) durch seine Methode der langen und kurzen Linien.

Zu solchen unerklärten Erscheinungen gehörte, dass bei einigen Elementen, wie schon Kirchhoff in Bezug auf Kobalt beobachtet hatte, nur für einzelne Linien, nicht für alle, coincidirende Sonnenlinien gefunden wurden, und dass einige der letzteren Umkehrung zeigten. Wie Lockyer darthat, hängt das Auftreten der Spectrallinien von Temperatur, Druck, Menge und Reinheit des in Dampfform vorhandenen Elementes ab. Die längsten Linien erfordern zu ihrer Entstehung die niedrigste Temperatur und sind am ehesten sichtbar. Das Auftreten der kurzen Linien wird man daher nicht überall in der relativ kühleren Dampfhülle, welche die Sonne umgiebt, erwarten dürfen. Man kann daher aus dem Fehlen solcher Linien nicht auf die Abwesenheit des betreffenden Elementes schliessen, wohl aber aus den langen Linien allein auf sein Vorhandensein. Auf gleiche Weise erklärt sich die Umkehrung der langen Linien, da der kühlere Dampf der Sonnenhülle, welcher vor dem heisseren die Umkehrung bewirkt, nur lange Linien hervorbringen kann.

Nach Lockyer sind in der Sonne ausser den bereits früher gefundenen Elementen noch vorhanden: Blei, Cadmium, Kalium, Cer, Strontium, Uran und Vanadin, wahrscheinlich auch noch Lithium, Rubidium, Cäsium, Zinn, Wismuth und Silber.

Lockyer hat aus seinen Beobachtungen noch einige Schlüsse gezogen, die indess allgemein auf Widerspruch gestossen sind. Aus der zuweilen verschiedenen relativen Intensität der Fraunhofer'schen Linien und der entsprechenden, im Laboratorium erhaltenen Spectrallinien leitete er ab, dass in der Sonne die Dissociation einiger Elemente vor sich gehe, und durch die Beobachtung einer Reihe von Fraunhofer'schen Linien, welche mit Linien verschiedener Elemente coincidiren, kam er zu der Annahme, dass bei der Dissociation gewisse basische Linien entstehen, welche einem mehreren Elementen gemeinsamen Grundstoffe angehören. Die Unrichtigkeit dieser Anschauung wurde indessen von Liveing und Dewar [2]), Fiévez [3]), H. W. Vogel [4]),

---

[1]) Lockyer, Studien zur Spectralanalyse, Leipzig 1879. — [2]) Liveing u. Dewar, Proc. Roy. Soc. 32, 225 (1881). — [3]) Fiévez, Ann. de l'observ. de Bruxelles [2] 11, 1882. — [4]) H. W. Vogel, Phil. Mag. [5] 15, 28 (1883).

Kayser und Runge[1]), Rowland[2]) u. A. dargethan. Es wurde nachgewiesen, dass die Intensität der Linien des Sonnenspectrums mit denen des Bogenspectrums bis auf wenige Ausnahmen nahezu dieselbe ist, und dass Lockyer Gruppen von Linien mit einzelnen Linien verwechselt oder sich hinsichtlich des Charakters der Linien gänzlich geirrt hat. Die „basischen Linien“ konnten bei Anwendung höherer Dispersion in mehrere zerlegt werden, wodurch die Coincidenz hinfällig wurde. Wo dies aber nicht der Fall war, erwies sich eine mehreren Elementen gemeinsame Verunreinigung als Grund der Erscheinung.

Auch die Zahl der von Lockyer als Sonnenbestandtheile nachgewiesenen Elemente hat Anfechtung erfahren. Zunächst haben Kayser und Runge, welche bei ihren Untersuchungen über die Spectren der Elemente auch deren Vorhandensein in der Sonne in Betracht zogen, die Abwesenheit von Kalium, Lithium, Cäsium und Rubidium mit Sicherheit festgestellt; dann konnten sie den Nachweis führen, dass Kohlenstoff und Stickstoff sicher im Sonnenspectrum vertreten sind, wie die Banden ergeben, welche einer Verbindung von Kohlenstoff und Stickstoff angehören und gewöhnlich Cyanbanden genannt werden.

Seit einigen Jahren hat Rowland[3]) die Fraunhofer'schen Linien eingehend studirt und mit Hülfe des Concavgitters die Spectra der Elemente photographirt, um sie mit seinem Sonnenatlas zu vergleichen. Das Ergebniss dieser Untersuchung ist in einer vorläufigen Veröffentlichung und in der auf S. 140 mitgetheilten Wellenlängentafel niedergelegt. Er konnte die Liste der in der Sonne enthaltenen Elemente um Lithium, Vanadium, Scandium, Yttrium, Zirkonium, Beryllium, Germanium und Erbium vermehren und ordnete die in der Sonne vorhandenen Stoffe nach der Intensität und der Zahl der Linien im Sonnenspectrum in folgender Weise:

Nach der Intensität		Nach der Zahl	
Calcium	Aluminium	Eisen (mindestens 200)	Zirkonium
Eisen	Titan	Nickel	Cerium
Wasserstoff	Chrom	Titan	Calcium (mindestens 75)
Natrium	Mangan	Mangan	Scandium
Nickel	Strontium	Chrom	Neodym
Magnesium	Vanadium	Kobalt	Lanthan
Kobalt	Barium	Kohlenstoff (mindestens 200)	Yttrium
Silicium	Kohlenstoff	Vanadium	Niob
Scandium	Cadmium	Molybdän	Erbium
Yttrium	Cerium	Palladium	Zink
Zirkonium	Germanium	Magnesium (mindestens 20)	Kupfer (2)
Molybdän	Rhodium	Natrium (11)	Beryllium (2)
Lanthan	Silber	Silicium	Germanium

[1]) Kayser u. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1890. — [2]) Rowland, Johns Hopkins Univ. Circulars 10, 42 (1891). — [3]) Ders. Ebend. 10, 41 (1891).

Nach der Intensität		Nach der Zahl	
Niob	Zinn	Strontium	Zinn
Palladium	Blei	Barium	Blei (1)
Neodym	Erbium	Aluminium (4)	Kalium (1).
Kupfer	Kalium	Cadmium	
Zink		Rhodium	

Zweifelhafte Elemente.

Iridium	Ruthenium	Wolfram
Osmium	Tantal	Uran.
Platin	Thorium	

Nicht im Sonnenspectrum.

Antimon	Cäsium	Rubidium
Arsen	Gold	Selen
Wismuth	Indium	Schwefel
Bor	Quecksilber	Thallium
Stickstoff (wie im evacuirten Rohr)	Phosphor	Praseodym.

Noch nicht untersuchte Stoffe.

Brom	Sauerstoff	Holmium
Chlor	Tellur	Thulium
Jod	Gallium	Terbium etc.
Fluor		

Diese Ergebnisse sind, wenngleich mit den besten Hülfsmitteln angestellt, noch keine endgültigen. Ist auch die Zahl der identificirten Fraunhofer'schen Linien eine grosse, so bleiben doch noch viele wichtige Linien ohne Erklärung. Manche sind vielleicht mit Silicium in Verbindung zu bringen, dessen sichtbares Spectrum im Gegensatze zum ultravioletten äusserst schwer zu erzeugen ist. Auch Eisenlinien dürften in noch grösserer Zahl mit Sonnenlinien zusammenfallen, als bis jetzt angenommen wird, wie denn überhaupt alle Elemente bei höherer Temperatur, als mit den bisherigen Mitteln zu erreichen war, noch mehr Linien hervorbringen werden.

Einige Lücken in der Erklärung Fraunhofer'scher Linien werden erst auszufüllen sein, wenn die nur mangelhaft untersuchten Spectren mancher Elemente genauer erforscht sein werden. Zu diesen gehören namentlich diejenigen der seltenen Erden. Bei Untersuchung derselben fand Rowland[1]), dass Cerium, Lanthan, Praseodym und Thorium nicht weiter zerlegbar sind. Yttrium besteht vielleicht aus zwei Bestandtheilen, Erbium sicher aus drei, vielleicht aus vier Elementen, von denen Rowland eins wegen der Schwierigkeit, welche die Trennung verursacht, Dämonium nennt; es kommt in der Sonne vor und hat eine stärkere Spectrallinie bei etwa 4000,6. Ausserdem hat Rowland noch vier weitere Elemente isolirt, welche er einstweilen mit den Buch-

---

[1]) Rowland, Johns Hopkins Univ. Circulars 13, 73 (1894).

staben h, n, k und e bezeichnet und von denen drei ein schwaches Absorptionsspectrum im sichtbaren Theile und ein starkes im ultravioletten aufweisen.

Tellurische Linien des Sonnenspectrums. Von den tellurischen oder terrestrischen Fraunhofer'schen Linien, d. h. solchen, die ihre Entstehung der Erdatmosphäre verdanken, ist bereits auf S. 115, 117 und 138 die Rede gewesen. Wie auch aus der Rowland'schen Wellenlängentafel zu ersehen, bewirken nur der Sauerstoff und der Wasserdampf der Atmosphäre die Absorption im sichtbaren Sonnenspectrum, während Stickstoff, Kohlensäure und Ozon ohne Einfluss zu sein scheinen. Der Nachweis von Sauerstoff wurde von Egoroff[1]), Janssen[2]), Cornu[3]) und Becker[4]) geführt, derjenige von Wasserdampf von Angström[5]) und von Janssen[6]).

Ausser auf Elemente, welche auf der Erde vorkommen, haben die Fraunhofer'schen Linien auch auf Grundstoffe schliessen lassen, die in unserem Planeten noch nicht angetroffen sind oder erst lange nach ihrer spectroskopischen Charakterisirung aufgefunden wurden; es gilt dies zunächt für die D_3-Linie, deren Element Frankland Helium nannte, dann für die helle grüne Linie der Corona, welche nach der von Kirchhoff erhaltenen Bezeichnung 1474 K genannt wird. In allerneuester Zeit ist es Ramsay[7]) gelungen, Helium im Cleveït aufzufinden.

Grenzen der Untersuchung. Gegenüber der auffallenden Thatsache, dass so manche irdische Elemente in der Sonne zu fehlen scheinen, namentlich Metalloide sowie Metalle mit hohem Atomgewicht, muss hervorgehoben werden, dass der Untersuchung gewisse Grenzen gezogen sind. Auf S. 47 ist schon mitgetheilt, dass das Sonnenspectrum im Ultraviolett nur bis etwa 300 $\mu\mu$ wahrzunehmen ist. Da gerade mit zunehmender Temperatur die Ausdehnung der Spectra nach dem violetten Ende wächst, muss angesichts der grossen Sonnenhitze ein sehr wesentlicher Theil des Sonnenspectrums unserer Beobachtung entzogen sein. Die Absorption des ultravioletten Endes erfolgt nach Cornu[8]) nicht durch wechselnde Bestandtheile der Atmosphäre (Wasserdampf, Staub), sondern lediglich durch Stickstoff und Sauerstoff. Cornu[9]) hat für die Berechnung des Einflusses, welchen die Dicke der durchstrahlten Luftschicht auf die Grenze des Sonnenspec-

---

[1]) Egoroff, Compt. rend. 93, 385, 788; 95, 447; 97, 555. — [2]) Janssen, Ebend. 54, 1280; 56, 538; 60, 213; 63, 728; Ann. ch. phys. [4] 23, 274. — [3]) Cornu, Compt. rend. 98, 169; Journ. de Phys. [2] 3, 109; Wied. Ann. Beibl. 8, 305; Ann. ch. phys. [6] 7, 5. — [4]) Becker, Trans. Roy. Soc. Edinb. 36, 1 (1890). — [5]) Angström, Compt. rend. 63, 647 (1866); Recherches sur le spectre solaire, Upsal. 1868. — [6]) Janssen, Compt. rend. 63, 289, 728 (1866); Ann. ch. phys. [4] 23, 274 (1871); 24, 215. — [7]) Ramsay, Chem. News 71, 151 (1893). — [8]) Cornu, Compt. rend. 90, 940. — [9]) Ders., Ebend. 88, 1285; 89, 808.

trums ausübt, eine Formel aufgestellt, der zufolge bei einer Erhebung von 663 m die Ausdehnung des ultravioletten Endes um 10 A.-E. zunimmt. Die Formel giebt als äussersten Werth für die beobachtete Grenze die W.-L. 2930 und lehrt, dass bei der W.-L. 2120 eine Luftschicht von 10 m, bei der W.-L. 1570 eine solche von 0,1 m zur totalen Absorption ausreicht. Dies wurde experimentell dadurch bewiesen, dass eine dreifache Linie des Aluminiums von der W.-L. 1860 bei Durchstrahlung einer 4 m dicken Luftschicht nicht mehr nachzuweisen war.

Eine weitere Schranke für die Ermittelung der chemischen Zusammensetzung der Sonne bietet der Umstand, dass der Kern der Sonne, welcher mindestens $^9/_{10}$ ihrer Masse ausmacht, wie der folgende Abschnitt lehrt, der spectroskopischen Untersuchung überhaupt nicht zugänglich ist.

Die physische Beschaffenheit der Sonne. Um die dunklen Linien des Sonnenspectrums zu erklären, nahm Kirchhoff an, dass die Sonnenatmosphäre einen leuchtenden Körper umhüllt, der für sich allein ein continuirliches Spectrum von grosser Lichtstärke giebt. Er stellte sich vor, dass die Sonne aus einem festen oder tropfbarflüssigen, in der höchsten Glühhitze befindlichen Kern besteht, der von einer Atmosphäre von etwas niedrigerer Temperatur umgeben ist.

Die Beobachtungen, welche seit den Kirchhoff'schen Entdeckungen bei Gelegenheit von Sonnenfinsternissen gemacht sind und die zahlreichen Untersuchungen, deren Gegenstand die Sonne überhaupt seitdem gewesen ist, lassen indessen erkennen, dass die Constitution der Sonne verwickelter ist, als Kirchhoff glaubte. Es würde über den Rahmen dieses Werkes hinausgehen, wollten wir auf diese noch keineswegs endgültig entschiedene Frage näher eingehen. Wir beschränken uns daher darauf, die Ansichten, welche von der Mehrzahl der Forscher, namentlich von Young[1]), vertreten werden, kurz zu skizziren.

Die Sonne besteht danach aus einem inneren Kerne, über dessen Beschaffenheit nur Vermuthungen gehegt werden können, da er sich der Beobachtung entzieht. Er ist umschlossen von der Photosphäre, der glühenden Wolkenhülle, welche die sichtbare Oberfläche bildet. Ob zwischen dieser Schicht und dem inneren Kerne eine scharfe Grenze vorhanden, ist unbekannt. Nach aussen ist die Photosphäre sehr scharf, wenn auch sehr unregelmässig begrenzt, indem sie an manchen Punkten zu Fackeln erhoben, an anderen zu Flecken niedergedrückt ist.

Unmittelbar über der Photosphäre liegt die sogenannte umkehrende Schicht, durch welche die Fraunhofer'schen Linien erzeugt werden. Die Dicke dieser Schicht beträgt nur ungefähr 200 Meilen. Die Gase, welche diese Schicht bilden, liegen aber nicht

---

[1]) Young, Die Sonne, Leipzig 1883.

ausschliesslich über der Photosphäre, sondern sie füllen auch die Zwischenräume zwischen den photosphärischen Wolken aus und bilden die Atmosphäre, in welcher diese Wolken schweben.

Ueber dieser umkehrenden Schicht liegt die hauptsächlich aus nicht condensirbaren Gasen (Wasserstoff) bestehende scharlachrothe Chromosphäre mit ihren mannigfaltigen Protuberanzen, die sich hoch über die Sonnenoberfläche erheben. Um das Ganze schliesst sich die Corona mit ihren Wolken, Einschnitten, Lichtströmungen, welche sich allmälig in der dunklen Umgebung verlieren.

Der grösste Theil der Masse der Sonne liegt innerhalb der Photosphäre, der grösste Theil des Volumens ausserhalb derselben. Der Durchmesser der Sonnenatmosphäre beträgt mindestens das Doppelte, ihr Volumen mithin das Siebenfache vom Volumen des Centralkörpers.

Ueber den Sonnenkern kann zwar das Spectroskop keine Aufschlüsse geben, doch nimmt man mit ziemlicher Bestimmtheit an, dass er gasförmig ist. Es folgt dies aus der an der Oberfläche der Sonne herrschenden ungeheuren Hitze, welche die Sonnenatmosphäre mit den Dämpfen unserer bekannten Metalle anfüllt, sowie aus der geringen mittleren Dichtigkeit. Dieselbe beträgt im Vergleiche mit der Dichtigkeit der Erde nur 0,253 (1,406 im Vergleiche mit Wasser) und müsste bedeutend grösser sein, wenn ein grosser Theil der Sonne aus flüssigem Eisen, Titan, Magnesium u. s. w. bestände. Wenn indessen auch der Sonnenkern die wesentlichen Eigenschaften der Gasarten theilt, so muss dennoch diese Gasmasse in Folge der hohen Druck- und Temperaturverhältnisse dichter als Wasser sein und eine Viscosität ähnlich wie Glaserkitt haben.

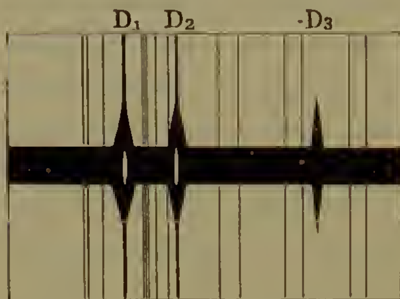
Die Photosphäre ist unzweifelhaft eine Gasschicht, aus welcher sich in Folge der durch Ausstrahlung in den Weltraum erzeugten Abkühlung Wolkenmassen condensiren, die ihr das gekörnte Aussehen verleihen und deren feste oder flüssige Theilchen, wie bei einer gewöhnlichen Flamme, die Leuchtkraft und das continuirliche Spectrum bedingen. Die Sonnenflecke zeigen ein Spectrum, das mit einem dunklen Längsstreifen durchzogen ist, und in welchem einige der dunklen Linien, wie diejenigen des Eisens, Titans und Calciums, erweitert, einzelne, wie die Wasserstofflinien, häufig umgekehrt sind. Die Natriumlinien sind oft sehr stark erweitert und umgekehrt, wie aus Fig. 43 ersichtlich ist. Die Erscheinungen machen es wahrscheinlich, dass die vermehrte Absorption von den die Vertiefung ausfüllenden Gasen und Dämpfen herrührt, welche das vom Boden der Vertiefung ausgesandte Licht absorbiren. In Folge von starken Bewegungen sind einzelne Linien zuweilen verzerrt, was weiter unten beim Abschnitt Linienverschiebung erörtert werden wird.

Die Sonnenfackeln bewirken keine andere Aenderung des Spectrums, als eine Vermehrung der Intensität des continuirlichen Theiles.

Das Emissionsspectrum der umkehrenden Schicht ist nur bei totalen Sonnenfinsternissen zu beobachten; in dem Augenblicke, wo die Sonne vollständig von der Mondscheibe bedeckt ist, sieht man die Linien durch die ganze Länge des Spectrums hell aufblitzen.

Auch das Spectrum der Chromosphäre und ihrer Protuberanzen war — wie die ganze Erscheinung — früher nur bei totalen Verfinsterungen der Sonne wahrnehmbar. Im Jahre 1868 haben aber Janssen[1] und Lockyer[2] gleichzeitig und unabhängig von einander ein Verfahren entdeckt, mit dessen Hülfe diese Theile der Sonne bei klarem Himmel täglich beobachtet werden können. Aehnliche Methoden haben Zöllner[3] und Huggins[4] angegeben. Bei Benutzung eines Spectroskopes von ausreichender Dispersion braucht man nur den Spalt zu erweitern, um die ganze Form einer Protuberanz, sofern sie nicht zu gross ist, auf einmal zu überblicken. Die Protuberanzen, welche einen gewissen Zusammenhang mit den Sonnenflecken und den Sonnenfackeln zu haben scheinen, werden in zwei Hauptclassen unterschieden: in ruhende, wolkenförmige oder Wasserstoffprotuberanzen und in eruptive oder metallische Protuberanzen. Erstere haben eine ähnliche Form wie die Wolken unserer Atmosphäre, letztere bestehen gewöhnlich aus stark leuchtenden Gebilden, deren Form und Helligkeit sich sehr schnell ändert, oft mit einer Geschwindigkeit von mehr als 150 km in der Secunde, wie sich durch die Linienverschiebung (s. weiter unten) nachweisen lässt. Die Grösse der Protuberanzen schwankt zwischen weiten Grenzen. Die mittlere Tiefe der Chromosphäre beträgt etwa 7500 bis 9500 km. Von 2767 Protuberanzen, welche Carrington beobachtete, erreichten 1964 eine Höhe von 29 000 km, 751 eine Höhe von über 43 000 km. Young beobachtete 1880 eine Protuberanz, welche die bis dahin noch nicht beobachtete Höhe von 562 400 km einnahm.

Fig. 43.



Die folgenden Linien bilden das Spectrum der eigentlichen Chromosphäre und sind immer vorhanden:

1.		7056	?	7.		4340,66	H
2.	[C]	6563,05	H	8.		4101,85	H
3.	[D_3]	5875,98	He	9.		3970	?
4.	[1474 K]	5316,87	?	10.	[H]	3970,05	H
5.	[F]	4861,50	H	11.	[K]	3933,81	Ca.
6.		4472	?				

[1]) Janssen, Compt. rend. 68, 93 (1865). — [2]) Lockyer, Proc. Roy. Soc. 17, 91, 104, 128 (1868). — [3]) Zöllner, Pogg. Ann. 138, 32 (1869). — [4]) Huggins, Proc. Roy. Soc. 17, 302 (1868).

Die Zahl der Linien, welche nur zuweilen, und zwar bei mehr oder weniger heftigen Bewegungen der Sonnenatmosphäre auftreten, ist viel grösser. Die wichtigsten derselben sind:

	6678,23	Fe	[b_1]	5183,79	Mg	4900,2	Ba
	6431,06	Fe	[b_2]	5172,87	Mg	4501,44	Ti
	6141,93	Fe–Ba	[b_3]	5169,16	Fe–Fe	4491,5	Mn
[D_1]	5896,15	Na	[b_4]	5167,57	Mg–Fe	4490,2	Fe–Mn
[D_2]	5890,18	Na		5018,6	Fe–Ni	4469,64	Fe–Ti
	5361,81	?		5015,7	?	4245,5	Fe
	5283,80	Fe?		4934,25	Ba	4236,1	Fe
	5276,21	?–Cr–Co		4924,11	Fe	4233,7	Fe–Ca
	5234,6	Mn		4922,2	?	4215,67	Fe–Sr
	5198,1	?		4919,18	Fe	4077,88	Ca–Fe.

Die Corona. Ueber die Corona, welche früher gleichfalls nur bei totalen Sonnenfinsternissen wahrnehmbar war, bis es Huggins [1]) gelang, sie bei gewöhnlichem Tageslicht zu photographiren, hat das Spectroskop noch keine volle Klarheit gebracht. Im Jahre 1869 fanden Harkness, Pickering und Young unabhängig von einander die bereits mehrfach genannte Coronalinie 1474 K von der Wellenlänge 5316,87. Ueber das Element, dem diese Linie zukommt, wissen wir bis jetzt nichts. Es ist nur aus dem Umstande, dass auch bei den heftigsten Stürmen in den Protuberanzen die Linie fein und scharf bleibt, anzunehmen, dass es sich um einen Stoff von viel geringerer Dichtigkeit als Wasserstoff handelt. Man glaubte lange, dass das Spectrum der Corona nur diese eine helle Linie besässe, indessen sind im Laufe der Zeit noch andere beobachtet, insbesondere von Schuster [2]), der 1882 in Aegypten etwa dreissig wahrnahm.

Ausser den hellen Linien beobachteten Pickering und Eastman 1869 ein schwaches continuirliches Spectrum, in welchem Janssen, sowie auch Barker einige der stärksten Fraunhofer'schen Linien *D*, *b* und *G* wahrnahmen. Aus diesem Verhalten ist zu schliessen, dass die Corona hauptsächlich aus glühenden Sonnengasen besteht, welche die hellen Linien hervorbringen, dass sie jedoch daneben eine beträchtliche Menge von Meteortheilchen enthält, welche sich in einem solchen Zustande befinden, dass sie das Sonnenlicht reflectiren.

Die übrigen Himmelskörper [3]).

Die Fixsterne. Die physische Beschaffenheit der Fixsterne entspricht derjenigen der Sonne. Das von dunklen Querlinien durchzogene continuirliche Spectrum lässt erkennen, dass die Fixsterne aus einem

---

[1]) Huggins, Proc. Roy. Soc. 34, 409; Astron. Nachr. 104, 113; Proc. Roy. Soc. 39, 108; Wied. Ann. Beibl. 9, 755. — [2]) Abney u. Schuster, Phil. Trans. 1884. — [3]) Vergl. Scheiner, Die Spectralanalyse der Gestirne, Leipzig 1890, wo dies Gebiet eingehend behandelt und auch die einschlägige Literatur mitgetheilt ist.

weissglühenden Kerne bestehen, welcher von einer glühenden Wolkenhülle umgeben ist. Schon Fraunhofer hat 1817 beobachtet, dass die dunklen Linien weder unter einander, noch mit den Sonnenlinien übereinstimmen, und die Verschiedenheit in den Sternspectren bereits richtig charakterisirt. Nach Begründung der eigentlichen Spectralanalyse haben dann Secchi und H. C. Vogel die Spectren nach der Entwickelungsphase der Sterne in Gruppen eingetheilt. Man unterscheidet:

Classe I. Sterne, deren Glühzustand so gross ist, dass die in ihrer Atmosphäre enthaltenen Metalldämpfe nur eine überaus geringe Absorption ausüben (weisse Sterne). Die Spectra bestehen a) aus intensiven Wasserstofflinien und schwachen Metalllinien (Sirius, Wega und die meisten weissen Sterne); b) aus einzelnen schwachen Metalllinien und keinen starken Wasserstofflinien (β, γ, ∂, ε Orionis); c) aus hellen Wasserstofflinien und der hellen D_3-Linie (α Lyrae, γ Cassiopejae).

Classe II. Sterne, bei denen, ähnlich wie bei unserer Sonne, die in den sie umgebenden Atmosphären enthaltenen Metalle sich durch kräftige Absorptionslinien im Spectrum kundgeben. Die Spectra haben a) ausser Wasserstofflinien zahlreiche, besonders im Gelb und Grün intensive Metalllinien (Capella, Arcturus, Aldebaran); b) neben dunklen Linien und einzelnen schwachen Bändern mehrere helle Linien (T Coronae).

Classe III. Sterne, deren Glühhitze so weit gesunken ist, dass die Stoffe, welche ihre Atmosphäre bilden, zu chemischen Verbindungen zusammentreten und dadurch Absorptionsstreifen hervorbringen (röthliche Sterne). Die Spectra enthalten a) ausser dunklen Linien Bänder, die nach dem Violett dunkel und scharf begrenzt und nach dem Roth matt und verwaschen erscheinen (α Herculis, α Orionis, β Pegasi). Die Linien gehören vorwiegend dem Eisen an; ob die Bänder auf einer Anhäufung feiner Linien oder auf einseitigen Verbreiterungen starker Linien beruhen, ist unentschieden. b) Dunkle, sehr breite Bänder, welche nach dem Roth scharf begrenzt sind und nach dem Violett allmälig erblassen. Dieser Typus ist nur durch schwächere Sterne vertreten, was sehr zu bedauern ist, da das Spectrum in der Atmosphäre dieser Sterne eine Kohlenwasserstoffverbindung (Acetylen ?) im glühenden Zustande vermuthen lässt.

Die Planeten und Monde. Da die Planeten und Monde reflectirtes Sonnenlicht ausstrahlen, so muss ihr Spectrum in der Hauptsache mit dem der Sonne übereinstimmen und kann nur durch etwa hinzutretende Absorptionslinien oder -streifen davon abweichen. Die spectroskopischen Beobachtungen an den Planeten haben ergeben, dass Mercur, Venus und Mars eine Atmosphäre besitzen, welche nicht wesentlich von der unserer Erde verschieden ist und auch Wasserdampf enthält. Dasselbe gilt von Jupiter und Saturn, welche aber in ihrem Spectrum einen neuen unbekannten Absorptionsstreifen enthalten, von dem nicht feststeht, ob er veränderten Temperatur- und Druckbedingungen oder einem anderen Gase seine Entstehung verdankt. Die Atmosphären

von Uranus und Neptun sind jedenfalls von der unserigen sehr verschieden und enthalten einen in der Erdatmosphäre nicht vorkommenden Stoff in grossen Mengen.

Das Spectrum des Mondes stimmt mit dem der Sonne in jeder Hinsicht überein und bestätigt, dass dieser Satellit keine Atmosphäre oder höchstens nur eine solche von verschwindender Dichtigkeit besitzt. Die Jupitermonde zeigen dagegen das gleiche Spectrum wie der Jupiter und scheinen die gleiche Atmosphäre zu haben.

Die Kometen. Schon bei der ersten spectroskopischen Beobachtung eines Kometen im Jahre 1864 fand Donati, dass das Spectrum drei helle Bänder auf einem continuirlichen Untergrunde aufweist und dass diese Himmelskörper wenigstens zum Theil eigenes Licht ausstrahlen. Vier Jahre später glaubte Huggins zu erkennen, dass die hellen Streifen im Kometenspectrum genau mit dem Spectrum übereinstimmen, welches man erhält, wenn man den Funken im ölbildenden Gase überspringen lässt. Später haben H. C. Vogel sowie Hasselberg durch genaue Messungen festgestellt, dass die von Huggins behauptete Identität zwar nicht zutrifft, dass aber nicht zu bezweifeln ist, dass die Kometen wesentlich Kohlenwasserstoffe enthalten. Ein dem Kometenspectrum sehr ähnliches Spectrum wurde erhalten, wenn man einen continuirlichen elektrischen Strom durch ein Gemisch von Kohlenwasserstoff und Kohlenoxyd entlud. Später hat H. C. Vogel das auch von Dunér und von Bredichin bestätigte Vorkommen von Natrium im Kometen 1882 I nachgewiesen, und haben Copeland und J. G. Lohse in dem Kometen 1882 II, welcher der Sonne bis auf wenige tausend Meilen nahe kam, Eisenlinien zu erkennen vermocht.

In Bezug auf das continuirliche Spectrum hat Huggins 1881 an den Fraunhofer'schen Linien nachgewiesen, dass es wenigstens zum Theil vom reflectirten Sonnenlichte herrührt. Durch photometrische und spectroskopische Beobachtungen eines plötzlichen Lichtausbruches am Kometen 1884 I ist dann dargethan, dass ein Theil des continuirlichen Spectrums von dem eigenen Lichte des Kometen herrührt, und Hasselberg hat die Entstehung desselben elektrischen Vorgängen zugeschrieben. Bekanntlich haben auch Beobachtungen anderer Art das Vorhandensein elektrischer Thätigkeit in den Kometen wahrscheinlich gemacht.

Die Meteore und Sternschnuppen lassen sich wegen der kurzen Zeit der Sichtbarkeit mit dem Spectroskop nur unvollkommen untersuchen. Ausser dem durch das Glühen der festen Bestandtheile erklärlichen continuirlichen Spectrum ist nur die Natriumlinie mit Sicherheit nachgewiesen. Da die zur Erde fallenden Meteoriten im Laboratorium untersucht werden können, so bietet die spectroskopische Untersuchung der Sternschnuppen kein erhebliches Interesse.

Die Nebelflecke. Im Hinblick auf die Kant-Laplace'sche Hypothese über die Bildung unseres Sonnensystemes versprach die

Spectralbeobachtung der Nebelflecke ein besonderes Interesse. Früher pflegte man sie in auflösliche oder Sternhaufen und in unauflösliche oder eigentliche Nebelflecke einzutheilen, wobei man aber annahm, dass es mit Hülfe mächtiger Teleskope gelingen würde, auch die letztere Classe in Sternhaufen aufzulösen. Die erste spectroskopische Beobachtung an Nebelflecken wurde 1864 von Huggins gemacht, wobei helle Linien, die nur von gasartiger Materie herrühren können, wahrgenommen wurden. Wegen der Lichtschwäche der Objecte ist die Untersuchung mit grossen Schwierigkeiten verknüpft. Mit mittleren Instrumenten sieht man in der Regel nur drei oder vier Linien, welche ungefähr die Wellenlängen 5004, 4957, 4861, 4341 haben. Durch Anwendung der Photographie gelang es indessen, noch nahezu 40 weitere Linien zu beobachten. Sie lassen das Vorhandensein von Wasserstoff und Stickstoff mit Sicherheit und die Anwesenheit des Heliums mit Wahrscheinlichkeit erkennen. Der Ursprung der allermeisten Linien ist indessen noch nicht festgestellt.

Bei vielen Nebelflecken ist ausser den hellen Linien auch ein schwaches continuirliches Spectrum beobachtet, dessen Maximalhelligkeit aber nicht im Gelb, sondern im Grün liegt. Nach Vogel zeigt dasselbe kein Anzeichen einer Auflöslichkeit, während Copeland sowie Huggins angeben, dass es sich in Linien aufzulösen scheint. Nach der letzteren Annahme würden auch die Sternhaufen glühende Gasmassen sein und als Sternsysteme aufzufassen sein, deren einzelne Körper gasförmig sind.

Nordlicht. Zodiakallicht. Blitz.

Das Nordlicht, welches auf elektrische Entladungen in sehr verdünnten Luftschichten zurückgeführt wird, ist Gegenstand zahlreicher Spectraluntersuchungen gewesen. Das Spectrum zeigt eine Anzahl sehr schwacher Linien neben einer charakteristischen, hellen, grünen Linie der Wellenlänge 5571, welche die Bezeichnung Nordlichtlinie führt. Der Ursprung derselben ist noch nicht klar gelegt; im Uebrigen ist nach den übereinstimmenden Ansichten H. C. Vogel's, Zöllner's und Hasselberg's das Nordlichtspectrum als eine Modification des Luftspectrums aufzufassen.

Das Spectrum des Zodiakallichtes ist ein reflectirtes Sonnenspectrum, in welchem wegen der Lichtschwäche und der dadurch bedingten weiten Spaltöffnung die Fraunhofer'schen Linien nicht mehr zu erkennen sind.

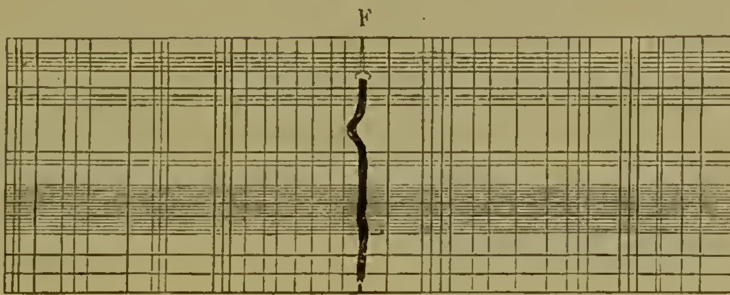
Das Spectrum der Blitze ist von zahlreichen Forschern, u. A. von Kundt, John Herschel, Laborde, H. C. Vogel, Joule, Procter, Young und Schuster beobachtet worden. Die meisten von ihnen haben das Linienspectrum des Stickstoffs wahrgenommen, daneben häufig ein continuirliches Spectrum und zuweilen ein Bandenspectrum

von unbekanntem Ursprunge. Nach Schuster hat letzteres eine ganz bemerkenswerthe Aehnlichkeit mit dem Spectrum des mit etwas Kohlenoxyd verunreinigten Sauerstoffs am negativen Pole einer Vacuumröhre.

Linienverschiebungen.

Das Spectroskop hat in der Astronomie eine wichtige Anwendung gefunden, um die Geschwindigkeit von Bewegungen in der Sehlinie zu ermitteln. Bei Erörterung der Sonnenflecke und Protuberanzen ist bereits erwähnt worden, dass die heftigen Bewegungen in der Sonnenatmosphäre eine Verschiebung oder Verzerrung der Spectrallinien bewirken. Die Erklärung für diese Erscheinung ergiebt sich aus dem Satze, den Doppler[1]) 1841 aufgestellt hat, und welcher die Bezeichnung Doppler'sches Princip führt. Nach demselben ändert sich die Farbe eines Lichteindruckes oder die Höhe eines Tones, wenn der leuchtende oder tönende Körper sich mit einer Geschwindigkeit, welche nicht verschwindend klein ist im Verhältniss zu der des Lichtes

Fig. 44.



oder Schalles, dem Beobachter nähert oder sich von ihm entfernt. Im ersten Falle treffen in einer gegebenen Zeit mehr Wellen das Auge oder das Ohr, als wenn die Licht- oder Tonquelle still steht; im zweiten Falle ist die Zahl der Wellen kleiner. Demgemäss wird die Farbe bezw. die Wellenlänge eines Lichtstrahles bei der Annäherung der Quelle nach dem Violett hin, bei der Entfernung nach dem Roth verschoben. Bezeichnet man mit λ die Wellenlänge des Lichtstrahles, mit λ_1 die durch die Bewegung der Lichtquelle erzeugte, mit v die Geschwindigkeit des Lichtes und mit α die der Lichtquelle, so ändert sich für den ruhenden Beobachter λ in

$$\lambda_1 = \lambda\left(1 \pm \frac{\alpha}{v}\right),$$

je nachdem die Lichtquelle kommt oder geht. Fig. 44 zeigt die Verzerrung der F-Linie im Spectrum eines Sonnenfleckes. Huggins hat

---

[1]) Doppler, Ueber das farbige Licht der Doppelsterne und anderer Gestirne des Himmels. Abhandl. K. Böhmischen Ges. d. Wissensch. [5] 2, 465 (1841 bis 1842).

1864 zuerst die Linienverschiebung benutzt, um die Bewegung des Sirius in der Sehlinie zu bestimmen. Er beobachtete, dass die Wellenlänge der *F*-Linie um 0,109 $\mu\mu$ zugenommen hatte, und da das Licht sich in der Secunde um 297 100 km fortbewegt und die Wellenlänge der *F*-Linie zu 486,5 $\mu\mu$ angenommen war, so ergab sich aus der Gleichung

$$\frac{297\,100 \times 0{,}109}{486{,}5} = 66{,}6,$$

dass zur Zeit der Beobachtung Sirius und Erde sich in der Secunde um 66,6 km entfernten. Da in der betreffenden Zeit die Erde sich vom Sirius um 19,3 km in der Secunde fortbewegte, so reducirte sich die gefundene Bewegungsgeschwindigkeit des Sirius auf 47,3 km. Mit vollkommeneren Instrumenten fand Huggins später, dass diese Geschwindigkeit nur 29 bis 35 km in der Secunde beträgt. — Aehnliche Untersuchungen sind an Sternen und Nebelflecken noch von H. C. Vogel, Seabroke und der Greenwicher Sternwarte ausgeführt. Lockyer und Young haben die Methode benutzt, um die Geschwindigkeit von Bewegungen in der Sonnenatmosphäre, soweit sie in der Richtung der Sehlinie erfolgen, zu messen. Hierbei ist eine ungeheure Heftigkeit der Strömungen, welche oft den Charakter von Wirbelstürmen annehmen, beobachtet worden. Bei den Flecken beträgt die Geschwindigkeit der auf- und abgeschleuderten Gasmassen 30 bis 40 km in der Secunde und bei den stürmischen Bewegungen der Protuberanzen übersteigt sie oft 150 km und erreicht zuweilen, wenn auch nur selten, sogar die doppelte Schnelligkeit.

AUTORENREGISTER.

A.

Abbe 31.
Abney 6, 48, 49, 117, 136, 138, 139, 155.
Adeney 7, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 82, 87, 90, 93, 102, 103, 105, 109, 111, 113, 114, 116, 117, 119, 120, 124, 125, 126, 127.
Allen 82.
Ames 14, 35, 68, 69, 73, 82, 113, 123, 124, 126.
Amici 31.
Angström 4, 6, 13, 25, 38, 48, 51, 58, 71, 72, 83, 85, 87, 90, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 105, 106, 107, 108, 111, 113, 114, 115, 116, 117, 121, 123, 124, 138, 139, 140, 147, 151.
Arrhenius 129.
Attfield 97, 100, 107.
Auer v. Welsbach 87.

B.

Bahr 86, 91.
Bailey 86, 87.
Balmer 7, 62, 64, 124.
Barker 155.
Becker 117, 151.
Becquerel 48, 74, 96, 104, 105, 107, 119, 125.
Becquerel, H. 49, 83, 87.
Beilstein 109.
Bell 71, 82, 118.
Bernthsen 132.
Berthelot 76, 77, 123, 124.
Bolton 122.
Brauner 174.
Brashear, John A. 38.
Bredichin 157.
Brewster 2, 85, 105, 106, 116, 117, 118, 138.
Browning 17, 18, 19, 22, 23, 30, 32.
Brühl 174.
Bunsen 2, 3, 5, 7, 14, 15, 29, 39, 44, 50, 52, 53, 60, 61, 73, 78, 82, 83, 84, 86, 87, 91, 96, 103, 104, 107, 110, 119, 120, 126.

C.

Cappel 73, 74.
Capron 123, 124.
Carrington 154.
Cauchy 28.
Cazin 1.
Chappuis 117.
Christiansen 11.
Christie 14, 23, 24.
Christofle 109.
Ciamician 68, 77, 79, 80, 84, 95, 101, 109, 114, 120.
Clayden 93.
Mc Clean 33.
Cleve 92, 103, 110, 121.
Clifton 5.
Collie 174.
Copeland 157, 158.
Cornu 6, 45, 47, 59, 62, 72, 74, 78, 79, 82, 83, 87, 90, 96, 105, 106, 107, 117, 120, 121, 122, 123, 126, 138, 139, 151.
Crookes 76, 77, 79, 87, 120, 126, 174.
Currie 49.

D.

Daniell 82, 95.
Delachanal 43.
Delafontaine 86.
Desains 47, 49.
Deslandres 45, 53, 62, 67, 92, 101, 102, 111, 116, 117, 124.
Dewar 7, 41, 46, 59, 62, 63, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 82, 83, 85, 87, 90, 91, 92, 93, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 113, 114, 116, 117, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 148.
Diacon 40, 96, 103, 104, 107.
Dibbits 1, 97, 100, 101, 115, 118.
Dieterici 1.
Ditte 68, 77, 84, 113, 120.
Donati 157.
Doppler 159.
Dorn 173, 174.
Draper 21, 48, 101, 138.
Dunér 157.
Dunstan 134.
Dupré 44.

E.

Eastman 155.
Ebert 39, 40.
Eder 40, 53, 79, 80, 83, 99, 100, 109, 114, 115, 118, 119, 173 174.
Egoroff 117, 151.
Eisig 111.
Emsmann 23.
Erdmann 173, 174.
Erhard 85.
Etard 85, 97.
Ewan 90, 102, 103, 124.

F.

Ferry 48.
Festing 136, 138.
Fiévez 87, 100, 105, 117, 138, 148.
Foucault 4, 58.
Frankland 56, 92, 151.
Franz 47.
Fraser 108.
Fraunhofer 3, 25, 58, 137, 138, 156.
Fuchs 23.

G.

Gänge 1.
Galitzin 173.
Gassiot 18.
Gauss 28.
Geissler 44.
Gernez 94, 95, 113, 119, 120.
Gladstone 49, 86, 105, 106, 109, 117, 129, 138.
Glan 30.
Glazebrook 14.
Goldstein 117.
Goske 132.
Gouy 40, 109.
Grace 123.
Grammont, A. de 113.
Grandeau 1.
Grebe 133.
Grubb 18.
Grünwald 68.

H.

Haensch, siehe Schmidt.
Hagenbach 122.
Haitinger 87.
Hale 92.
Harkness 155.
Hartley 7, 44, 68, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 87, 90, 93, 100, 102, 103, 105, 106, 109, 111, 113, 114, 116, 117, 119, 120, 124, 125, 126, 127, 134, 135.
Hasselberg 45, 73, 74, 75, 80, 82, 84, 94, 95, 111, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 123, 124, 157, 158.
Hautefeuille 68, 80, 100, 114, 117, 127.
Helmholtz, H. v. 11, 47.
Helmholtz, R. v. 48.
Hennesay 117.
Herschel, Alex. 23.
Herschel, A. S. 101, 102.
Herschel, John 2, 3, 158.
Herschel, William 47.
Heycock 93.
Hilger, Adam 19, 23, 33.
Hittorf 55, 59, 77, 79, 80, 84, 93, 95, 100, 101, 108, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 123, 124.
Hofmann 22, 109, 115, 118.
Holden 109.
Hüfner 30.
Huggins 1, 6, 75, 76, 77, 78, 79, 83, 85, 86, 87, 90, 91, 92, 96, 97, 100, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 111, 113, 114, 117, 119, 120, 123, 124, 125, 126, 127, 154, 157, 158, 174.
Huntington 77, 134.
Hutchins 109, 111.
Huygens 7.

J.

Janssen 21, 22, 32, 111, 117, 123, 124, 151, 154, 155.
Johnson 82.
Joule 158.
Julius 48, 53, 67, 74.

K.

Kahlbaum 2.
Kayser 1, 7, 8, 38, 41, 42, 52, 53, 55, 56, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 83, 90, 92, 93, 96, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 109, 110, 113, 114, 118, 119, 120, 124, 125, 126, 127, 149, 174.
Kempf 6, 71, 139.
Kessler 23.
Ketteler 104.
Kirchhoff 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14, 15, 16, 17, 29, 39, 52, 56, 58, 59, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 90, 92, 93, 96, 97, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 113, 114, 117, 119, 126, 127, 138, 147, 148, 151, 152.
Klinkerfues 1.
Knoblauch, O. 60, 129.
Kobb 91, 92.
v. Kövesligethy 1, 67.
Konkoly, v. 1, 33.
Kopp 2.
Kostanecki, v. 132.
Krüss 1, 29, 50, 85, 87, 92, 103, 106, 110, 121, 128, 132.
Krüss, H. 1, 85, 106.
Kundt 11, 60, 131, 158.
Kurlbaum 71.

L.

Laborde 158.
Lamansky 47.
Landauer 49, 131.
Lang, V. v. 26.
Langley 6, 46, 48, 49, 117, 139.
Lapraik 85, 124.
Lecoq de Boisbaudran 1, 44, 50, 61, 66, 67, 68, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 83, 84, 85, 90, 91, 92, 93, 96, 97, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 117, 118, 119, 120, 124, 126, 127.
Lewis 48.
Liebermann, C. 132.
Lielegg 1, 87, 90, 100.
Lippich 57, 87.
Listing 73.
Littrow 18.
Liveing 7, 41, 46, 59, 62, 63, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 82, 83, 85, 87, 90, 91, 92, 93, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 113, 114, 116, 117, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 148.
Lockyer 1, 7, 18, 32, 53, 56, 57, 58, 59, 75, 76, 77, 79, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 90, 93, 95, 96, 97, 98, 101, 105, 106, 107, 108, 109, 113, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 148, 149, 154, 160, 174.
Lohse, J. G. 157.
Lommel 1, 49, 139.
Lorscheid 1.

M.

Magnanini 115, 118, 129.
Marignac 110.
Mascart 14, 82, 83, 90, 114, 119, 125, 126, 127, 138, 139.
Masson 4.
Maxwell 54.
Melloni 47.
Melville, Thomas 2.
Mermet 43.
Miller, W. A. 3, 6, 82, 95, 106, 120.
Mitscherlich, A. 39, 40, 78, 79, 83, 84, 91, 95, 101, 103, 114, 118, 119, 124, 125.
Monckhoven 45.
Morren 84, 97, 100, 101, 118.
Morton 122.
Moser 82, 118.
Mouton 47.
Müller, 6, 71, 85, 90, 93, 104, 107, 119, 138, 139.
Müller, J. 47.
Müller (-Pouillet) 1.
Mulder 113.
Mac Munn 1.

N.

Neovius 111.
Newall 174.
Newton 3, 11.
Nietzki 133.
Nilson 85, 87, 110, 112, 121.

O.

Oeconomides, S. 132.
Oeffinger 122.
Orsman 96, 97.
Ostwald 34, 129, 131.

P.

Paalzow 111.
Palmieri 92.
Paschen 92, 174.
Pearce 109.
Peirce 71.
Pfaundler 1.
Piazzi-Smyth 45, 98, 100, 111, 115, 116, 117, 123, 124, 138.
Pickering 14, 155.
Plücker 4, 44, 55, 77, 79, 80, 84, 93, 95, 100, 101, 102, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 123, 124.
Pringsheim 59.
Procter 158.
Proctor 1.

R.

Ramsay 76, 77, 92, 151, 174.
Rayleigh 11, 14, 21, 76, 77.
Reich 93.
Reusch 14.
Reynolds 62, 85, 86, 87.
Richard 123, 124.
Richter 93.
Rilliet 134.
Roberts 75, 76, 79, 120, 127.
Roscoe 1, 5, 56, 60, 61, 82, 87, 90.
Rosenberger 2.
Rowland 6, 7, 12, 14, 25, 35, 38, 39, 71, 72, 87, 98, 114, 121, 125, 126, 139, 140, 149, 150.
Rubens 46, 48.
Rühlmann 104.
Runge 7, 14, 41, 42, 52, 53, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 83, 87, 90, 92, 93, 96, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 109, 110, 113, 114, 118, 119, 120, 124, 125, 126, 127, 149, 174.
Russell 96, 97, 124.
Rutherfurd 19, 34, 96, 107.
Rydberg 7, 53, 65, 66, 69, 83, 119.

S.

Sabatier 85, 103.
Sabine 102, 103.
Salet 1, 40, 44, 45, 46, 80, 91, 93, 95, 96, 109, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 120, 123.
Sarasin 124.
Scheiner 1, 34, 155.
Schellen 1.
Schmidt u. Haensch 23, 26.
Schönn 123, 124.
Schottländer 86, 87.
Schumann 46, 47.
Schütze 133, 134.
Schuster 1, 7, 53, 56, 62, 87, 96, 111, 113, 116, 155, 158, 159.
Seabroke 124, 160.
Secchi 1, 32, 90, 117, 156.
Seguin 109, 113.
Sellmeier 11.
Sieben 11.
Siemens, W. v. 59.
Snell 9.
Snow 48.
Sorby 30.
Soret 46, 62, 86, 87, 110, 124, 134.
Steinheil 15, 16.
Stenger 60, 129.
Stewart, Balfour 58.
Stokes 47, 58, 122.
Stoney 61, 62, 67, 85.
Swan 3, 97, 100, 106, 107.

T.

Talbot, Fox 2, 3, 101.
Thalén 1, 6, 61, 66, 71, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 90, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 147.
Thiele 174.
Thollon 14, 20, 102, 118, 138.
Thorpe 82.
Trawers 174.
Troost 68, 80, 100, 114, 127.
Trowbridge 73, 102, 103, 111.

V.

Valenta 40, 79, 80, 83, 99, 109, 114, 119, 173, 174.
Vierordt 1, 30.
Vogel, E. 132.
Vogel, H. C. 32, 33, 116, 124, 138, 156, 157, 158, 160.
Vogel, H. W. 1, 23, 33, 44, 49, 50, 60, 79, 85, 87, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 105, 106, 109, 111, 122, 123, 124, 127, 128, 133, 148.

W.

Walter 21, 34.
Watts 1, 72, 73, 87, 90, 98, 100, 101, 102, 105, 127.
Welsbach, Auer v. 87.
Wernicke 21.
Wesendonck 100, 101, 102.
Wheatstone 4, 48.
Wiedemann, E. 43, 59.
Witt, O. N. 134.
Willigen, van der 4, 84, 100, 114, 115, 116, 117.
Winkelmann 1, 53, 62, 68.
Wollaston 3, 11, 97, 100, 137.
Wolf 40, 96, 97, 104, 107.
Wolff, C. H. 96, 103.
Wüllner 53, 55, 56, 95, 100, 101, 102, 111, 116, 124.

Y.

Young 1, 18, 138, 152, 154, 155, 158, 160.

Z.

Zimmermann 122.
Zöllner 33, 56, 154, 158.

SACHREGISTER.

A.

A-Linie 13, 52, 146.
Abkühlung der Flamme zur Erzeugung von Spectra 39.
Ablenkung, Minimum der 10.
Absorption des Lichtes, Mechanismus der 59.
— durch Gase und Flüssigkeiten 129.
— im sichtbaren Theile des Spectrums 131, 132.
— im Ultraroth 136.
— im Ultraviolett 134.
— und Emission, Beziehung zu einander 58, 59.
— und Fluorescenz 61.
— und Phosphorescenz 61.
Absorptionscoëfficient 60.
Absorptionsspectra 2, 59, 127.
—, Beobachtung der 49, 128.
—, Photometrie der 30.
—, Tafel von 130.
Absorptionsspectrum, Einfluss der Concentration einer Lösung 50.
—, Einfluss der optischen Dicke 50, 60.
—, Einfluss der Stellung substituirender Gruppen 133 ff.
—, Einfluss des Aggregatzustandes 59, 60.
—, Einfluss des Lösungsmittels 60, 133.
—, Einfluss des Temperaturzustandes auf das 59, 60.
—, Einfluss des wachsenden Atomgewichtes auf das 86, 132 ff.
—, Einfluss substituirender Radicale 132 ff.
— und Farbe, Zusammenhang zwischen 133.
— und Molekularstructur, Zusammenhang zwischen 129, 131, 134, 135.
Absorptionsstreifen, Verschiebung von, bewirkt durch Substitutionen in organischen Verbindungen 132 ff.
—, Verschiebung von, bewirkt durch wachsendes Atomgewicht 86, 132 ff.
Absorptionsvermögen und Emissionsvermögen, Beziehung zu einander 59.
Aether, Licht- 7.
—, ultraviolettes Absorptionsspectrum 135.
Aggregatzustand, Einfluss auf die Absorptionsspectra 59.
Albumine, ultraviolettes Absorptionsspectrum 135, 136.
Albuminoide, ultraviolettes Absorptionsspectrum 135.
Aldebaran, Spectrum 156.
Alizarin, Absorptionsspectrum 129, 130.
Alkohol, Brechungscoëfficient 9.
Alkohole $C_2H_{2n} + 2$, ultraviolettes Absorptionsspectrum 135.
Aluminium 74.
—, Bogenspectrum 74.
—, Funkenspectrum 74.
Aluminiumoxyd 75.
—, Bogen- (Banden-) Spectrum 75.
Amine 116.
Ammoniak, Linien-(Flammen-) Spectrum 115, 118.
—, ultrarothes Absorptionsspectrum 136.
Anilinblau, Absorptionsspectr. 129, 130.
Anleitungen zum Füllen der Geissler'schen Röhren 45.
Anomale Dispersion 11.
Antimon 75.
—, Absorptionsspectrum 75.
—, Bogenspectrum 75.
—, Funkenspectrum 75.
Angström'sche Einheit 8.
Apparate, spectralanalytische 14 ff.
Arcturus, Spectrum 156.
Argandbrenner 49.
Argon 76, 173, 174.
—, Blaues (Funken-) Spectrum 76, 173, 174.
—, Rothes (Funken-) Spectrum 77, 173.
Arsen 77.
—, Bogenspectrum 77.
—, Funkenspectrum 77.
Astigmatismus der Concavgitter 25, 38.
Atlas, Angström'scher 6, 72, 138.
—, Rowland'scher 6, 72, 139.
Atmosphäre der Erde, Absorptionswirkung 47, 115, 138.

Atombewegung der Molekeln 54.
Atomgewichte u. Spectra, Beziehungen zu einander 66, 68, 69.
—, Berechnung derselben mit Hülfe homologer Linien 68.
Atomschwingungen und Lichtschwingungen, Beziehung zu einander 54.
Aufzeichnung der Spectra 53.
Azogruppe im Molekül, Einfluss derselben auf organische Farbstoffe 134.

B.

B-Linie 13, 52, 146.
b_1-Linie 52, 144.
b_2-, b_3- und b_4-Linien 52, 143.
Bandenspectrum 53, 55.
—, Gesetzmässigkeiten im Bau 66.
Barium 77.
—, Bogenspectrum 78.
—, Funkenspectrum 78.
Bariumbromid, Flammenspectrum 78.
Bariumchlorid, Flammenspectrum 78.
Bariumjodid, Flammenspectrum 78.
Bariumoxyd, Flammenspectrum 78.
Basische Linien, angebliche 148.
Benzol und -Derivate, ultraviolettes Absorptionsspectrum 135.
Berechnung der Linien eines Spectrums nach Kayser und Runge 63.
— — — nach Rydberg 65.
Bessemerflamme, Spectrum 87.
Beugung des Lichtes 12.
Beugungsgitter, Erfindung der, durch Fraunhofer 3.
—, siehe Gitter.
Beryllium 78.
—, Fluorescenzspectrum 78.
—, Funkenspectrum 78.
Bewegung leuchtender Körper in der Richtung der Sehlinie 159.
Beziehungen zwischen den Linien eines Elementes 61.
— zwischen den Spectra verschiedener Elemente 67.
Blei 79.
—, Bogenspectrum 79.
—, Funkenspectrum 79.
Bleioxyd, Bandenspectrum 79.
Blitz, Spectrum 158.
Blutfarbstoffe, Absorptionsspectra 129, 130.
Blutflecken, Erkennung von 129.
Bogenspectra, Erzeugung der 41.
Bolometer von Langley 48.
Bor 79.
—, Bogenspectrum 80.
—, Funkenspectrum 80.
Borsäure, Flammen- (Banden-) Spectrum 80.
Brechung des Lichtes 8.
Brechungscoëfficient (-expon., -index) 9.
Brenner, Bunsen'scher 39.
—, Terquem'scher 39, 40.
Brom 80.
—, Absorptionsspectrum 80.
—, Funken- (Linien-) Spectrum 80.
α-Bromnaphtalin, Brechungscoëfficient 9.

C.

C-Linie 13, 52, 145.
Cadmium 82.
—, Bogenspectrum 82.
—, Funkenspectrum 82.
Cadmiumbromid, Flammenspectrum 82.
Cadmiumchlorid, Flammenspectrum 82.
Cäsium 82.
—, Bogenspectrum 82.
—, Flammenspectrum 82.
—, Funkenspectrum 82.
Calcium 83.
—, Bogenspectrum 83.
—, Flammenspectrum 83.
—, Funkenspectrum 83.
Calciumbromid, Flammenspectrum 83.
Calciumchlorid, Flammenspectrum 84.
Calciumfluorid, Flammenspectrum 84.
Calciumoxyd, Flammenspectrum 84.
Cannelirtes Spectrum 53, 55.
Capella, Spectrum 156.
γ-Cassiopejae, Spectrum 156.
Cerium 84.
—, Funkenspectrum 84.
Chininsulfat als Mittel um ultraviolette Strahlen zu beobachten 47.
Chinolinroth, Absorptionsspectrum 129, 130.
Chlor 84.
—, Absorptionsspectrum 84.
—, Funkenspectrum 84.
Chlorophyll, Absorptionsspectrum 129, 130.
Chrom 85.
—, Bogenspectrum 85.
—, Funkenspectrum 85.
Chromverbindungen, Absorptionsspectrum 85, 129, 130.
—, spectralanalytische Gehaltsbestimmungen 85.
Chromosphäre 153, 154, 174.
Chromophore 134.
Chrysoidine, Absorptionsspectra 132.
Coincidenzmethode, Rowland's 38.
Collimator 15.
Concavgitter, Rowland'sches 12, 25, 37, 139.
Concavgitterspectograph, Rowland's 35.
Concavgitterspectroskop, Rowland's 25.
Continuirliches Spectrum 2, 53, 54.
Complementärfarbe 133.
Corona 153, 155.
T-Coronae, Spectrum 156.

Coronalinie 151, 155.
Corrections-Tabelle von Watts für Angström'sche Scalentheile 72.
Crownglas, Brechungscoëfficient 9.
Cyan, Bandenspectrum 98, 100.

D.

D-Linien 58, 106, 137, 139.
D_1-Linie, Wellenlänge der 13, 71.
D_3-Linie 76, 92, 151, 156.
Dämpfe, Herstellung glühender 39 ff.
Didym 85.
—, Funkenspectrum 86.
Didymchlorid, Absorptionsspectrum 86.
Didymerde, Absorptionsspectrum 86.
Didymnitrat, Absorptionsspectrum 86.
Diffraction des Lichtes 13.
Diffractionsgitter, siehe Gitter.
Discontinuirliches Spectrum 2, 55.
Dispersion, anomale 11.
— des Lichtes 10.
—, Erhöhung der 18.
Dispersionscurve 51.
Dispersionsformel, Cauchy's 28.
Dissociation, angebliche, von Elementen in der Sonne 148.
—, elektrolytische 102, 129.
Doppellinien (Linienpaare) 63 ff.
Doppler'sches Princip 159.
Druck, Einfluss von, auf die Spectrallinien 56.
Dunkelheitsmaxima, Bestimmung derselben nach Krüss 50.
Durchmusterung, spectroskopische, des Himmels 33.

E.

E-Linie, 13, 52, 144.
Einheit, Angström'sche 8, 38, 51.
Eintheilung, Listing'sche, der Farben 73.
Eisen 87.
—, Bogenspectrum 88.
—, Funkenspectrum 87.
Eisensalze, Absorptionsspectrum 87, 129, 130.
Eiweisskörper, ultraviolettes Absorptionsspectrum 135.
Elemente, in der Sonne vorhandene 147 ff.
Emission des Lichtes 2.
— und Absorption des Lichtes, Beziehung zu einander 58, 59.
Emissionsspectra 53.
Empfindlichkeit der Spectralreactionen 2, 5, 73.
Eosin, Absorptionsspectrum 129, 130.
Erbium 91.
—, Funkenspectrum 91.
Erbiumchlorid, Absorptionsspectrum 91.
Erdmetalle, seltene, ultraviolette Absorptionsspectra 86.
Erweiterung der Spectrallinien 56, 153.
Ester, ultraviolettes Absorptionsspectrum 135.
Extinctionscoëfficient 61, 174.

F.

F-Linie 13, 52, 143.
Farbe der Salzlösungen, abhängig vom Arrhenius'schen Dissociations-Gesetz 129.
Farbe und Absorptionsspectrum, Zusammenhang zwischen 133.
Farben, complementäre, bewirken zusammen die Empfindung von weiss 133.
Farben, Erklärung der 8.
—, Wellenlänge der 8.
Farbstoffe, Farbe organischer, bedingt durch die Gegenwart gewisser Gruppen im Molekül 134.
—, Theorie der, von Schütze 133.
Fettsäuren, ultraviolettes Absorptionsspectrum 135.
Fixsterne 155, 156.
Flammenspectra, Vorrichtungen zur dauernden Erzeugung derselben 39.
Flintglas, Brechungscoëfficient 9.
Fluor 91.
—, Flammenspectrum 91.
—, Funkenspectrum 91.
Fluoresceïn, Absorptionsspectrum 129, 130, 132.
Fluorescenz und Absorption 61.
Fluorsilicium, Funken- (Flammen-) Spectrum 91.
Flussspath, Brechungscoëfficient 9.
Formel, Balmer'sche, zur Berechnung der Wasserstofflinien 62, 63.
—, Deslandres', zur Berechnung von Bandenspectra 62.
—, Kayser und Runge's, zur Berechnung der Linien eines Spectrums 63.
—, Rydberg's, zur Berechnung der Linien eines Spectrums 65.
Fortpflanzungsgeschwindigkeit d. Lichtes 8.
Fraunhofer'sche Linien 4, 5, 29, 48, 49, 52, 87, 137.
Fuchsin, Absorptionsspectrum 129, 130.
Fulgurator von Delachanel u. Mermet 43.
Funken, Spectrum des elektrischen 3.
Funkenspectra, Erzeugung der 43.
Funkenstrecke, Einschaltung in den Stromkreis 43.

G.

G-Linie 13, 52, 142.
Gallium 91.
—, Bogenspectrum 91.

Gallium, Funkenspectrum 91.
—, spectralanalytische Berechnung des Atomgewichtes 68.
Gase, spectroskop. Untersuchung der 49.
Gasglühlicht, Auer'sches 49.
Gauss'sches Ocular 28.
Geissler'sche Röhren 44.
—, Füllung derselben 45.
Gelatinefreie Platten zum Photographiren ultravioletter Strahlen 47.
Germanium 91.
—, Funkenspectrum 92.
—, spectralanalytische Berechnung des Atomgewichtes 68, 92.
Geschichte der Spectralanalyse 2.
Gesetz der Absorption und Emission, Kirchhoff'sches 56, 58.
—, Kirchhoff'sches, Einwendungen gegen dasselbe 59.
—, Snell'sches 9.
Gesetzmässigkeiten i. Bau d. Spectra 7, 61.
Gitter 12.
—, durchlässige 12.
—, Reflexions- 12.
—, Rowland's Plan- und Concav- 12.
—, Trennungsvermögen 13.
Gitterconstante 24, 25.
Gitterhalter 37.
Gitterspectra, Entstehung der 13.
Gitterspectroskope 24, 25, 26.
Glas, Verunreinigung der Spectra durch 44, 84, 112.
Glasgitter 24.
Gold 92.
—, Bogenspectrum 92.
—, Funkenspectrum 92.
Graphische Darstellung der Spectra 53.

H.

H-Linie 13, 52, 142.
Halbprismen, Christie's 23, 24.
Hämatin, Absorptionsspectrum 130.
Harmonische Beziehungen zwischen den Spectrallinien 7, 62.
— Serie nach Liveing u. Dewar 7, 63.
Hauptserie nach Kayser u. Runge 64.
Helium 92, 151, 158, 174.
—, Funkenspectrum 92.
α-Herculis, Spectrum 156.
Himmelslicht als Lichtquelle 49.
Hohlprisma, zur Beobachtung von Absorptionsspectra 49.
Hohlprismen, mit stark brechenden Flüssigkeiten gefüllt 18, 20, 21.
Homologe Linien verschiedener Elemente 67, 69.

I.

Indigo, Absorptionsspectrum 129, 130.
Indium 93.
Indium, Bogenspectrum 93.
—, Flammenspectrum 93.
—, Funkenspectrum 93.
Inductionsfunken 43.
Influenzmaschine 43.
Infraroth, Beobachtungsmethoden 47.
—, Zeichen für Linien im 139.
Intensität der Spectrallinien 73.
Intensitätsscala 73.
Intensitätszahlen 73.
Interferenzgesetz 13.
Interpolationscurve, Herstellung einer 50.
Ionen, Farbe der 129.
Iridium 93.
—, Bogenspectrum 93.
Iridiumammonchlorid, Absorptionsspectrum 93.
Isomere Körper 135.

J.

Jod 93.
—, Absorptionsspectrum 94, 174.
—, Funkenspectrum 94.
Jodverbindungen, Absorptionsspectrum 94.
Jupiter, Spectrum 156.
Jupitermonde, Spectrum 157.

K.

Kalium 95.
—, Bogenspectrum 96.
—, Flammenspectrum 96.
—, Funkenspectrum 96.
Keilspalt 34.
Kirchhoff'sches Gesetz 58, 59.
Knallgasflamme 39.
Kobalt 96.
—, Bogenspectrum 97.
—, Funkenspectrum 97.
Kobaltchlorid und Rhodanammon 96.
Kobaltglas, Absorptionsspectrum 96.
Kobaltsalze, Absorptiosspectrum 96, 129, 130.
—, spectralanalytische Gehaltsbestimmung 96.
Kohlehydrate, ultraviolettes Absorptionsspectrum 135.
Kohlenoxyd, Banden- (Funken-) Spectrum 102.
Kohlenoxydgas, Nachweisung bei Vergiftungen 129.
Kohlenoxydhämoglobin, Absorptionsspectrum 130.
Kohlenstoff 97.
—, Banden- (Flammen-, Bogen-) Spectrum 97, 99.
—, Linien- (Funken-) Spectrum 97, 99.
Kohlenstoffbanden bei Metallspectra 42.

Kohlenwasserstoffe, vorhanden in Sternen 156, in Kometen 157.
Kometen 157.
—, Eigenlicht derselben 157.
Kundt'sche Regel 60.
Kupfer 102.
—, Bogenspectrum 103.
—, Funkenspectrum 103.
Kupferchlorid, Flammenspectrum 102, 103.
Kupfersalze, Absorptionsspectrum 102, 103, 129, 130.
—, spectrocolorimetrische Gehaltsbestimmung 103.

L.

Lanthan 103.
—, Funkenspectrum 103.
Leydener Flasche 43.
Lithium 103.
—, Bogenspectrum 104.
—, Flammenspectrum 104.
—, Funkenspectrum 104.
Leuchtfarbe, Balmain'sche 48.
Licht, anomale Dispersion 11.
—, Beugung 12.
—, Brechung 8.
—, Dispersion 10.
—, Fortpflanzungsgeschwindigkeit 8.
—, Huygens'sche Theorie 7.
—, Reflexion 8.
—, weisses, Zusammensetzung desselb. von Newton entdeckt 11.
Lichtarten, homogene 10.
Lichtäther 7.
Lichtschwingungen und Atomschwingungen, Beziehung zu einander 54.
Linie 1474 K (Coronalinie) 151, 155.
Linien, (angebliche) basische 148.
— eines Elementes, Beziehungen zwischen den 61, 62.
—, Fraunhofer'sche 4, 5, 29, 48, 49, 52, 87, 137.
—, — Ursprung der 5, 59.
—, homologe 67.
—, Lockyer's, kurze und lange 57, 58, 148.
—, Selbstumkehrung der 56.
—, Verbreiterung derselben durch Drucksteigerung 56, 57.
Linienpaare 63 ff.
Linienspectra 53, 55.
—, Bau der 65.
Linienverschiebungen 159.
Lösungen, spectroskop. Untersuchung von 49.
Luft, Linienspectrum 115, 117.
—, Absorptionsspectrum 115, 117.
—, Spectrum der elektrischen Entladung in flüssiger 115, 117.
Luftlinien bei Metallspectra 43, 115.
Luminescenz nach Wiedemann 59.
α-Lyrae, Spectrum 156.

M.

Magnesium 104.
—, Bogenspectrum 105.
—, Flammenspectrum 105.
—, Funkenspectrum 105.
Magnesiumhydroxyd, Bandenspectrum 105.
Magnesiumoxyd, Bandenspectrum 105.
Magnesiumwasserstoff, Bandenspectrum 104.
Malachitgrün, Absorptionsspectrum 129, 130.
Mangan 105.
—, Bogenspectrum 106.
—, Funkenspectrum 106.
Manganoxyd, Funkenspectrum 105, 106.
Mangansalze, Absorptionsspectrum 105, 129, 130.
—, spectrocolorimetrische Gehaltsbestimmung 105.
Mars, Spectrum 156.
Mercur, Spectrum 156.
Messvorrichtung an Spectroskopen 17, 19, 20, 23, 26, 30, 31, 33, 50, 52.
Metallgitter 24.
Meteore und Sternschnuppen 33, 157.
Methylviolett, Absorptionsspectrum 129, 130.
Mikromillimeter ($\mu\mu$) 8.
Mikrospectroskope 31, 32.
Miniaturspectroskope 22.
Minimum der Ablenkung 10.
—, automatische Einstellung auf das 17.
Molekeln, Atombewegung der 54.
— der Gase 54.
— der festen Körper 53, 54.
— der flüssigen Körper 54.
Molekularstructur der Materie, Erforschung der 53.
— und Absorptionsspectrum, Zusammenhang zwischen 129, 131, 134, 135.
Molybdän 106.
—, Funkenspectrum 106.
Monckhoven'sche Röhren 45.
Mond, Spectrum 157.
Monde, Spectrum der 156.
Monobromnaphtalin zur Füllung von Hohlprismen 21.

N.

Natrium 106.
—, Bogenspectrum 107.
—, Flammenspectrum 107.
Natrium-(D-)Linie 2, 3, 58, 106, 107, 137.

Nebelflecke 157.
Nebenserie, erste, zweite nach Kayser und Runge 83.
Neodym 85.
Neptun, Spectrum 157.
Nickel 107.
—, Bogenspectrum 107.
—, Funkenspectrum 107.
Nickelsalze, Absorptionsspectrum 107, 129, 130.
Niob 108.
Nordlicht 158.
Normallinien, Rowland's Verzeichniss der 6, 71, 140.

O.

Ocular, Gauss'sches 28.
α-Orionis, Spectrum 156.
β-, γ-, δ-, ε-Orionis, Spectrum 156.
Ortsbestimmung im Spectrum 6, 87, 139.
Osmium 108.
—, Funkenspectrum 108.
Oxyhämoglobin, Absorptionsspectrum 130.

P.

Palladium 108.
—, Funkenspectrum 108.
β-Pegasi, Spectrum 156.
Phosphor 108.
—, Banden- (Flammen-) Spectrum 108.
—, Linien- (Funken-) Spectrum 108.
Phosphorescenz 61.
Phosphorescenzwirkung der ultrarothen Strahlen 48.
Photographie, Anwendung derselben in der Spectroskopie 33 ff., 47, 48, 139.
Photographische Platte nach Abney 48, nach Schumann 47.
Photosphäre 152, 153.
Planeten 156.
Platin 109.
—, Funkenspectrum 109.
Platinsalze, Absorptionsspectrum 109.
Plücker'sche Röhren 44.
Positionsbestimmungen, vergleichende 6.
Potsdamer System 6, 71.
Praseodymnitrat, Absorptionsspectrum 87.
Prisma 9.
—, brechende Flächen desselben 9.
—, brechende Kante desselben 9.
—, brechender Winkel desselben 9.
—, Rutherfurd'sches 15, 19, 34.
—, totalreflectirendes 18.
—, Trennungsvermögen 11.
Prismamaterial, Brechungsexponent desdelben 10.
Prismenkörper, Amici'scher 21.
Prismenspectroskope mit abgelenktem Strahle 14 ff.
—, mit gerader Durchsicht 21 ff.
Protuberanzen 153, 154.
—, eruptive (Wasserstoffprotuberanzen) 154.
—, ruhende (wolkenförmige) 154.
—, Schnelligkeit ihrer Bewegungen 154, 160.
Purpurin, Absorptionsspectrum 129, 130.

Q.

Quantitative Spectralanalyse 30, 85, 96, 103, 105.
Quarz, Brechungscoëfficient 9.
Quarzlinsen und -Prismen 47.
Quecksilber 109.
—, Bogenspectrum 109.
—, Funkenspectrum 109.

R.

Reduction der Angström'schen Scala auf die Rowland'sche 72.
Reduction der Messungen auf Wellenlängen 50.
Reflexion des Lichtes 8.
Reflexionsprisma 16.
Refraction des Lichtes 8.
Regel, Kundt'sche 60.
Regenband 123.
Reihen von Linien, diffuse, Haupt-, scharfe nach Rydberg 66.
Rhodium 110.
Röhren, Geissler'sche 43, 46.
—, Salet'sche 46.
Röthliche Sterne 156.
Rubidium 110.
—, Bogenspectrum 110.
—, Flammenspectrum 110.
—, Funkenspectrum 110.
Ruthenium 110.

S.

Safranin, Absorptionsspectrum 129, 130.
Salet'sche Röhren 46.
Salpetersäure, ultrarothes Absorptionsspectrum 136.
Salze, verschiedene, derselben färbenden Base oder Säure 129.
Salzlösungen, Farbe der, abhängig vom Arrhenius'schen Dissociationsgesetz 129.
Samarium 110.
—, Funkenspectrum 110.
Samariumnitrat, Absorptionsspectrum 110.
Saturn, Spectrum 156.
Sauerstoff 111.
—, Bandenspectrum 111.

Sauerstoff, elementares Linienspectrum 111.
— in organisch. Radicalen, Verhalten im ultrarothen Absorptionsspectrum 136.
—, Spectrum der elektrischen Entladung in flüssigem 116.
—, zusammengesetztes Linienspectrum 111.
Scala 16, 50.
—, Angström'sche 71, 72.
—, Bunsen'sche 50.
—, Rowland'sche 52, 71, 72.
Scalen, Ungleichheit der 50.
Scalentheile in Wellenlängen umgerechnet 50.
Scandium 112.
—, Funkenspectrum 112.
Schicht, umkehrende 152.
Schichtdicke 50, 60.
Schulz'scher Glaskörper 30.
Schwefel 112.
—, Bandenspectrum 112.
—, Linienspectrum 112.
Schwefelkohlenstoff, Brechungscoëfficient 9.
— zur Füllung von Hohlprismen 20.
Schwingungszahl 8, 52.
Sehlinie, Bewegung leuchtender Körper in der Richtung der 160.
Selbstumkehrung der Linien 56.
Selen 113.
—, Bandenspectrum 113.
—, Funkenspectrum 113.
Selenverbindungen, Absorptionsspectrum einiger 113.
Serie, harmonische 63.
Serien von Linien eines Grundstoffes 62 ff.
Silber 113.
—, Bogenspectrum 114.
—, Funkenspectrum 114.
Silicatflintglas, Brechungscoëfficient 9.
Silicium 114.
—, Funkenspectrum 114.
Sirius, Fortbewegung in der Sehlinie 160.
—, Spectrum 156.
Sonne, chemische Zusammensetzung der 147.
—, irdische Körper in deren Atmosphäre 147 ff.
—, physische Beschaffenheit der 152.
Sonnenatlas, Angström'scher 6, 72, 138.
—, Rowland'scher 6, 72, 139.
Sonnenatmosphäre, Geschwindigkeit von Bewegungen in der 160.
Sonnenfackeln 152, 153.
Sonnenflecke 152, 153.
Sonnenkern 152, 153.
Sonnenspectroskope 32.
Sonnenspectrum 137.
Sonnenspectrum, Absorption des ultravioletten Theiles 47. 151.
—, Kichhoff's Zeichnung desselben 5.
—, normales, Angström's Atlas desselben 138.
—, —, Rowland's photographischer Atlas desselben 6, 139.
—, tellurische Linien desselben 151.
—, ultrarothes, Photographie desselb. 138, 139.
—, ultraviolettes, Cornu's Atlas desselben 138.
Spalt, Einführung 3, 11.
—, Vorrichtungen 16, 34, 37.
Spaltrohr 15.
Spectra, Aufzeichnung derselben nach Bunsen 53.
—, Beugungs-, Vorzüge der 13.
—, Brechungs-, Vorzüge der 13.
— des elektrischen Funkens, erste Beobachtung der 3.
— erster Ordnung von Plücker und Hittorf 55.
—, Gruppirung derselben in Uebereinstimmung mit dem periodischen System 69.
—, schematische Zeichnung nach dem Maassstabe der Schwingungszahlen 70.
— und Atomgewichte, Beziehungen zu einander 66, 68, 69.
— verschiedener Elemente, Beziehung zwischen denselben 67, 68.
— zweiter Ordnung von Plücker und und Hittorf 55.
Spectralanalyse, allgemeine Werke über 1.
—, Anwendung der 2, 5, 30, 53, 88.
—, Begriff der 1.
—, Begründung der, durch Kirchhoff und Bunsen 2.
—, Geschichte der 2 ff.
—, Physikalische Grundlage der 7 ff.
—, quantitative 30, 85, 96, 103, 105.
Spectralapparate 14.
Spectralkarten 138.
Spectrallinien, Erweiterung von 56, 153.
Spectralreactionen, Empfindlichkeit der 2, 5, 73.
Spectrographen 33.
Spectrometer 24, 26 ff.
Spectrophotometer 30.
Spectroskope mit abgelenktem Strahle 14, 29.
—, mit gerader Durchsicht (à vision directe) 21 ff.
Spectrum 2.
—, Absorptions- 2.
—, Aenderungen desselben, abhängig von Aenderungen der Atombewegung 53.

Spectrum, Beobachtung der unsichtbaren Theile vom 46.
—, cannelirtes 53, 55.
—, continuirliches 2, 53, 54.
—, Definition 2.
— der elektrischen Entladung in stark verdünnten Gasen, nach Plücker 4.
—, discontinuirliches 2, 55.
— eines Elementes verschieden von dem seiner Verbindungen 5, 55.
—, Ortsbestimmung im 6, 87, 139.
—, reines 11.
—, unterbrochenes (discontinuirliches) 2, 55.
—, ununterbrochenes (continuirliches) 2, 53, 54.
—, Unveränderlichkeit desselb. innerhalb der Spectralstufen 55.
Sterne, röthliche 156.
Sternschnuppen und Meteore 157.
Sternspectrometer 33.
Sternspectroskope 32.
Sterne, weisse 156.
Stickstoff 114, 174.
—, Bandenspectrum des + Poles 114, 116.
—, — des — Poles 115, 117.
—, Linienspectrum 114, 116.
—, Spectrum der elektrischen Entladung in flüssigem 116.
Strahlen, infrarothe 47.
—, ultrarothe 47.
—, ultraviolette 46.
Strontium 118.
—, Bogenspectrum 118.
—, Funkenspectrum 119.
Strontiumchlorid, Flammenspectrum 119.
Strontiumoxyd, Flammenspectrum 119.
Strontiumverbindungen, Flammenspectrum 118.
Substituirende Gruppen, Stellung derselben beeinflusst die Verschiebung der Absorptionsstreifen 133.
Substitutionen in organischen Verbindungen verschieben die Absorptionsstreifen 132 ff.
Swan'sches Spectrum des Kohlenstoffes 97.
Symmetrischer Durchgang durch das Prisma 10.

T.

Tantal 119.
Taschenspectroskope 22 ff.
Tellur 119.
—, Bandenspectrum 119.
—, Funkenspectrum 120.
Tellurbromid, Absorptionsspectrum 119.
Tellurchlorid, Absorptionsspectrum 119.
Tellurische Linien des Sonnenspectrums 111, 115, 117, 138, 151.
Temperatur der Bunsenflamme 41.
— des elektrischen Bogenlichtes 41.
— des elektrischen Funkens 43.
—, Einfluss der, auf die Absorptionsspectra 60.
—, Einfluss der, auf die Spectrallinien 56.
Terrestrische Linien des Sonnenspectrums 111, 115, 117, 138, 151.
Thallium 120.
—, Bogenspectrum 120.
—, Flammenspectrum 120.
—, Funkenspectrum 120.
Thorium 121.
—, Funkenspectrum 121.
Thulium 121.
—, Funkenspectrum 121.
Thuliumoxyd, Bandenspectrum 121.
Thuliumsalze, Absorptionsspectrum 121.
Titan 121.
—, Bogenspectrum 121.
—, Funkenspectrum 121.
Trennungsvermögen eines Gitters 13.
— — Prismas 11.
Triplets 64 ff.

U.

Ultrarother Theil des Spectrums, Beobachtungsmethoden 47.
Ultravioletter Theil des Spectrums, Beobachtungsmethoden 46.
Umkehrende Schicht der Sonne 152, 154.
Umkehrung der Spectrallinien 56, 153.
Unterbrochenes Spectrum 2, 55.
Untersalpetersäure, Absorptionsspectr. 116, 118.
Ununterbrochenes Spectrum 2, 55.
Unveränderlichkeit d. Spectrums innerhalb der Spectralstufen 55.
Uran 122.
—, Funkenspectrum 122.
Uransalze, Absorptionsspectrum 122, 129, 130.
Uranglasplatte als Mittel um ultraviolette Strahlen zu beobachten 47.
Uranus, Spectrum 157.

V.

Vanadin 122.
—, Funkenspectrum 123.
Venus, Spectrum 156.
Verbreiterung der Spectrallinien 56, 153.
Vergleichsphotogramm 36.
Vergleichsspectrum 16.

W.

Wärmeeffect der einzelnen Spectraltheile 47.
Wasser, Brechungscoëfficient 9.
—, Emissionsspectrum 123.
—, Absorptionsspectrum 123.
—, ultrarothes Absorptionsspectrum 136.
Wasserdampf, Absorptionsspectrum 123.
Wasserstoff 123.
—, elementares Linienspectrum 124.
—, zusammengesetztes Linienspectrum 124.
—, ultrarothes lineares Absorptionsspectrum 136.
Wasserstoffflamme 39.
Wega, Spectrum 156.
Weisse Sterne 156.
Wellenlänge, Aenderung derselb. durch Annäherung oder Entfernung der Lichtquelle 159.
—, Anwendung der, zur Ortsbestimmung im Spectrum 6.
— der Farben 8.
—, Einheitsmaass für die 8.
Wellenlängenbestimmungen d. D-Linien 71.
Wellenlängentafel der Fraunhofer'schen Linien von Rowland 139, 140.
Winkel, brechender 20.
Wismuth 124.
—, Bogenspectrum 124.
—, Funkenspectrum 124.
Wismuthoxyd, Flammenspectrum 125.
Wismuthsalze, Flammenspectrum 124.
Wolfram 125.
—, Funkenspectrum 125.

Y.

Ytterbium 125.
—, Funkenspectrum 125.
Yttrium 125.
—, Funkenspectrum 126.
—, Phosphorescenzspectrum 126.

Z.

Zimmtsäureäthyläther, Brechungscoëfficient 9.
— zur Füllung von Hohlprismen 21.
Zink 126.
—, Bogenspectrum 126.
—, Funkenspectrum 126.
Zinn, 126.
—, Bogenspectrum 127.
—, Funkenspectrum 127.
Zinnoxyd, Bandenspectrum 127.
Zirkon 127.
—, Funkenspectrum 127.
Zirkonlicht, Linnemann'sches 49.
Zodiakallicht, Spectrum 158.

Nachträge

während des Druckes erschienener Arbeiten und Druckfehler-Berichtigung.

Seite 57. Anmerk. [1]) hinzuzufügen: Galitzin, Wied. Ann. **56**, 78 (1895).

Seite 76. Argon, Zeile 12 von unten: Dorn u. Erdmann fanden dagegen, dass die Linien dieses Spectrums theilweise dem Quecksilber und Stickstoff angehören.

Zeile 10 von unten hinzuzufügen: Eder und Valenta haben das Argonspectrum zwischen 506 $\mu\mu$ und 332 $\mu\mu$ mit einem lichtstarken Concavgitter photographisch aufgenommen und im rothen Spectrum folgende Hauptlinien erhalten:

4628,56	4596,22	4522,49	4510,85	4300,18	4272,27	4259,42
4251,25	4200,76	4198,42	4182,07	4164,36	4158,63	4044,56
3949,13	3834,83.					

Minder charakteristisch sind die nachstehenden Linien, von denen die mit * bezeichneten auch im blauen Spectrum vorhanden sind:

*4736,03	*4426,15	*4348,11	*4345,27	*4335,42	*4333,64	*4266,41
(4191,15	4190,76)	3900,04	*3850,70	*3770,81	*3729,44	3691,07
3635,60	3632,83	*3588,58	*3582,51	*3576,79	*3559,66	3554,47
*3546,07	*3514,67	*3491,71	*3476,94.			

Kayser veröffentlichte eine vorläufige Liste der Linien des blauen Argonspectrums. Das Gas stammte aus der atmosphärischen Luft, und seine Linien fehlen im Rowland'schen Atlas und Verzeichniss der Fraunhofer'schen Linien.

Seite 77. Zeile 8 von oben hinzuzufügen: Dorn und Erdmann, Lieb. Ann. **287**, 230 (1895). — Eder u. Valenta, Wiener akadem. Anzeiger Nr. 21 (1895). — Kayser, Chem. News **72**, 99 (1895). — Newall, ebend. **71**, 115. — Crookes, ebend. **72**, 99 (1895).

Seite 92. Helium, Zeile 4 von unten: Kayser fand, dass eine mit reinstem Argon gefüllte Geissler'sche Röhre beim Vergleich mit Heliumröhren die D_3-Linie zeigte, wodurch ihm die Anwesenheit von Helium in der Bonner Atmosphäre erwiesen gilt. Nach Lockyer, coincidiren zahlreiche Heliumlinien mit bisher unerklärten Linien der weissen Sterne des Orions und der Sonnenchromosphäre.

Zeile 1 von unten hinzuzufügen: Runge u. Paschen, Wied. Ann. Beibl. **19**, 634. — Huggins, Chem. News **72**, 26. — Kayser, ebend. **72**, 89. — Brauner, ebend. **71**, 271. — Lockyer, Compt. rend. **120**, 1103. Proc. Roy. Soc. **58**, 67. — Ramsay, Nature **52**, 224. — Ramsay, Collie u. Trawers, Chem. Soc. Journ. **67**, 648 (1895).

Seite 93. Zeile 4 von oben: Statt Reis, lies Reich.

Seite 94. Nach Zeile 9 von oben einzufügen: E. Thiele fand bei Untersuchung der Absorptionsspectra von Jodlösungen verschiedener Concentration desselben Lösungsmittels, dass das Gesetz: „Die Extinctionscoëfficienten der Lösungen eines gefärbten Körpers verhalten sich wie die Concentrationen der Lösungen" nicht gültig ist. Bisher waren solche Ausnahmen nur bei Elektrolyten beobachtet und aus der Dissociationstheorie erklärt worden. Jod ist jedoch ein Nichtelektrolyt (Ztschr. phys. Chem. **16**, 147; Ber. **28**, R. 720).

Seite 96. Zeile 5, 12 und 13 von unten: Statt Russel, lies Russell.

Seite 97. Zeile 2, 28 und 29 von oben: Statt Russel, lies Russell.

Seite 106. Zeile 3 von oben: Einzuschalten vor 6022,0: Bogen- und Funkenspectrum.

Seite 107. Zeile 4 von oben: Einzuschalten vor 8200,3: Bogen- und Funkenspectrum.

Zeile 20 von unten: Einzuschalten vor 6177,0: Bogen- und Funkenspectrum.

Seite 116. Nach Zeile 25 von unten einzuschalten: Brühl suchte den spectrochemischen Zusammenhang unter den Verbindungen des Stickstoffes zu ermitteln und die spectrometrischen Constanten dieses Elementes festzustellen (Ztschr. phys. Chem. **16**, 193, 225; Ber. **26**, 806, 2508; **28**, 2388, 2393, 2399).

Seite 121. Zeile 4 von oben: Einzuschalten vor 5538,0: Funkenspectrum.
